

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Инженерно-строительный
Инженерные системы зданий и сооружений

УТВЕРЖДАЮ:
Заведующий кафедрой
_____ Г.В. Сакаш
подпись
« _____ » _____ 2016 г.

БАКАЛАВСКАЯ РАБОТА

08.01.03.06 «Водоснабжение и водоотведение»

Разработка технологии физико-химической очистки хромсодержащих сточных
вод

Руководитель _____ канд. хим. наук, профессор Т.И. Халтурина
подпись, дата

Выпускник _____ Р.Д. Николаева
подпись, дата

Консультанты:

Научный, технологический
разделы, автоматизация, БЖД _____ Т.И. Халтурина
подпись, дата

Экономический раздел _____ Т.П. Категорская
подпись, дата

Нормоконтролер _____ Т.И. Халтурина
подпись, дата

Красноярск 2016

РЕФЕРАТ

Тема выпускной квалификационной работы «Разработка технологии физико-химической очистки хромосодержащих сточных вод». Работа содержит 134 страницы текстового документа, 7 приложений, 85 использованных источников, 7 листов графического материала.

ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ ХРОМСОДЕРЖАЩИХ СТОЧНЫХ ВОД, МЕТОД РЕАГЕНТНОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД, ГАЛЬВАНОКОАГУЛЯЦИЯ, ЭЛЕКТРОКОАГУЛЯЦИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ, ТЭП, ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА.

Объект исследования – сточные воды гальванического производства, содержащие в своем составе ионы Cr^{6+} .

Цели научного исследования:

- изучение процесса реагентного обезвреживания хромосодержащих сточных вод для выбора оптимальных режимов обработки;
- составление возможных технологических схем и определение экономически-выгодного варианта очистки хромосодержащих сточных вод.

Тема моей выпускной квалификационной работы является актуальной, так как соединения шестивалентного хрома, содержащиеся в стоках гальванического производства, относятся к группе высокотоксичных компонентов, обладающих широким спектром токсического действия с многообразными проявлениями.

В результате проведения научных исследований по разработке технологии физико-химической очистки хромосодержащих сточных вод была получена математическая модель, описывающая процесс очистки хромосодержащих сточных вод, определены оптимальные дозы реагента-восстановителя FeSO_4 .

Был выполнен технологический расчет по следующим методам очистки хромосодержащих сточных вод:

- с применением гальванокоагуляционной очистки;
- с использованием электрокоагуляции;
- с применением реагентной обработки.

Проведено технико-экономическое сравнение методов для выявления экономически выгодного варианта очистки сточных вод гальванического производства (приложение Е).

Представлены методы автоматизации производственного процесса, такие как: автоматизация работы двигателей насосов, частотное регулирование, корректировка pH, фильтрация воды на скорых фильтрах с зернистой загрузкой (приложение Д).

В приложении Ж описаны правила безопасности работы с реагентным хозяйством, дозировкой кислот и щелочей, а также правила обеспечения электробезопасности рабочих.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	5
1 Литературный обзор методов очистки хромсодержащих сточных вод..	6
1.2 Химический метод.....	6
1.3 Биологический метод.....	9
1.4 Электрохимические методы.....	10
1.4.1 Метод электрокоагуляции.....	11
1.4.2 Метод гальванокоагуляции.....	12
1.4.3 Метод электрофлотации.....	14
1.5 Мембранные методы.....	15
1.5.1 Обратный осмос.....	15
1.5.2 Электродиализ.....	16
1.6 Методы сорбции.....	18
1.6.1 Адсорбционный метод.....	18
1.6.2 Метод ионного обмена.....	20
2. Изучение процесса очистки сточных вод реагентным методом.....	22
2.1 Исследование процесса реагентной очистки хромсодержащих сточных вод по методу Бокса-Хантера.....	22
2.2 Исследование процесса реагентной очистки хромсодержащих сточных вод методом Брандона.....	26
2.3 Определение свойств и состава осадка хромсодержащих сточных вод.....	28
3 Технологический расчет сооружений очистки хромсодержащих сточных вод.....	30
3.1 Технологическая схема №1. Гальванокоагуляционный метод обезвреживания сточных вод, содержащих ионы Cr^{6+} ...	30
3.1.1 Расчет усреднителя сточных вод.....	31
3.1.2 Расчет фильтра-грязефика.....	31
3.1.3 Расчет гальванокоагулятора.....	32
3.1.4 Расчет ферритизатора.....	32
3.1.5 Приготовление растворов реагентов.....	32
3.1.6 Приготовление раствора NaOH	35
3.1.7 Расчет вертикального отстойника со встроенной водоворотной камерой хлопьеобразования.....	36
3.1.8 Расчет тонкослойных элементов.....	41
3.1.9 Скорый фильтр с зернистой загрузкой.....	43
3.1.10 Распределительная система фильтра.....	45
3.1.11 Отвод промывной воды.....	48
3.1.12 Потери напора при промывке фильтра.....	50
3.1.13 Резервуар чистой воды.....	52
3.1.14 Расчет шламоуплотнителя	53
3.1.15 Подбор фильтр-пресса.....	54
3.1.16 Тонкослойный отстойник для промывных вод ФЗ.....	55
3.1.17 Подбор установки ультрафильтрации.....	56

3.1.18 Резервуар сбора глубоководной воды.....	57
3.2. Технологическая схема №2. Электрокоагуляционный метод обезвреживания хромсодержащих стоков.....	58
3.2.1. Расчет электролизёра с железными анодами.....	58
3.3 Технологическая схема №3. Реагентный метод обезвреживания хромсодержащих сточных вод.....	59
3.3.1 Расчет дозы реагента-восстановителя.....	59
3.3.2 Воздуходувки и воздухопроводы.....	59
3.3.3 Приготовление раствора каустической соды.....	59
3.3.4 Определение площади складов реагентов.....	60
3.3.5 Дозирование растворов реагентов.....	61
3.3.6. Вертикальный вихревой смеситель.....	61
3.3.7 Резервуар чистой воды.....	62
Заключение.....	64
Список использованных источников.....	65
Приложение А Изучение процесса очистки сточных вод реагентным методом.....	71
Приложение Б Гальванокоагуляционный метод обезвреживания сточных вод, содержащих ионы Cr^{6+}	84
Приложение В Расчет электролизёра с железными анодами.....	91
Приложение Г Реагентный метод обезвреживания хромсодержащих сточных вод.....	95
Приложение Д Автоматизация и управление процессами очистки сточных вод.....	103
Приложение Е Технико-экономический расчет	112
Приложение Ж Мероприятия по обеспечению безопасности жизнедеятельности.....	127

ВВЕДЕНИЕ

Тема моей выпускной квалификационной работы: «Разработка технологии физико-химической очистки хромосодержащих сточных вод».

В качестве объекта исследования были приняты модельные сточные воды гальванического производства, содержащие в своем составе ионы Cr^{6+} .

Следует отметить, что одним из главных источников образования хромосодержащих сточных вод является гальваническое производство. Высокотоксичные соединения шестивалентного хрома (хромовая кислота и ее соли) образуются в ходе многих технологических процессов: при химическом травлении, хромировании, фосфатировании, пассивировании и электрохимическом анодировании алюминиевых деталей, а также при электрополировке стальных изделий.

Так как ионы Cr^{6+} относятся к группе высокотоксичных компонентов, обладающих широким спектром токсического действия с многообразными проявлениями, а также способностью аккумулироваться в почве и живых организмах, не подвергаясь биологическому разрушению, работа по разработке технологии обезвреживания хромосодержащих сточных вод является актуальной.

Целью моего научного исследования являлось изучение процесса реагентного обезвреживания хромосодержащих сточных вод для выбора оптимальных режимов обработки.

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

- проведение планового эксперимента по методам Бокса-Хантера и Брандона;
- обработка и анализ экспериментальных данных для получения математической модели, описывающей процесс реагентной очистки хромосодержащих сточных вод.

Научная новизна работы заключена в получении математической модели для определения оптимальных доз реагента-восстановителя FeSO_4 , а также в изучении состава и свойств образующегося осадка сточных вод, содержащих ионы шестивалентного хрома.

Практическая значимость работы заключена в возможности использования результатов исследования при разработке и реконструкции локальных очистных сооружений для очистки сточных вод, содержащих ионы шестивалентного хрома.

Работа выполнена в лаборатории кафедры инженерных систем зданий и сооружений.

1 Литературный обзор методов очистки хромосодержащих сточных вод

Источниками образования хромосодержащих сточных вод являются: гальваническое производство, кожевенная, текстильная, металлургическая, химическая промышленность [1;2].

Хром также присутствует в сточных водах предприятий органического синтеза, производства пигментов, фармацевтической, спичечной и лакокрасочной промышленности [3].

Следует отметить, что соединения шестивалентного хрома (хромовая кислота и ее соли) применяются во многих технологических процессах: при травлении, хромировании, фосфатировании, пассивации металлов, при электрохимической обработке, а также при электрополировке стальных изделий [4;5;6;7].

Очистка сточных вод от ионов Cr^{6+} является крайне актуальной задачей, поскольку соединения хрома (III, VI) часто встречаются на практике, а также они имеют свойство аккумулироваться в почве и живых организмах, не подвергаются биологическому разрушению. При превышении ПДК Cr^{6+} происходит угнетение роста клеток, развитие тяжелых форм аллергических реакций и появление онкологических заболеваний.

При спуске хромосодержащих стоков в городские канализационные сети происходит нарушение процессов очистки на городских очистных сооружениях, которое проявляется в снижении эффективности отстаивания, торможении биохимических процессов в биофильтрах, метантенках. Появляется сложность в утилизации и складировании образовавшегося токсичного осадка.

В современной практике используются следующие методы очистки воды от хрома (VI): реагентные, биологические, электрохимические, мембранные, сорбционные, флотационные и комбинированные [8;9;10;11].

1.2 Химический метод

Химический метод может заслуженно считаться одним из самых распространенных методов очистки хромосодержащих сточных вод.

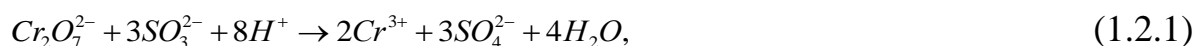
Его суть заключается в переводе растворимых веществ, в данном случае хрома (VI), в малорастворимые (хром (III)) с помощью добавления реагентов [12;13]

Обработка воды проводится в два этапа:

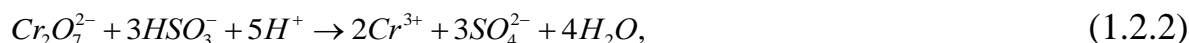
I этап – восстановление ионов хрома (VI) до хрома (III);

II этап – осаждение ионов хрома в форме гидроксида хрома (III) [14;15].

В качестве реагентов наибольшее распространение получили натриевые соли сернистой кислоты - сульфит Na_2SO_3), бисульфит NaHSO_3), пиросульфит ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$), а также дитионит натрия ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$) [16]. Процесс перевода Cr^{6+} в Cr^{3+} сульфитом натрия описывают следующие уравнения:



Восстановление Cr^{6+} бисульфитом натрия выглядит так:



Использование пиросульфита натрия дает следующую реакцию:



Восстановление Cr^{6+} до Cr^{3+} диатонитом натрия:



Полученные ионы трехвалентного хрома осаждают в кислой среде ($pH > 6$) с помощью NaOH [17].

Для ускорения процесса осаждения взвеси используют коагулянты.

Процессы коагуляции и флокуляции облегчают удаление взвешенных веществ и коллоидов путем их концентрирования в форме хлопьев (флокул) с последующим отделением в системах отстаивания, флотации или фильтрации [18].

В качестве коагулянтов применяют гидроксихлорид алюминия $Al_2(OH)_5Cl \cdot 6H_2O$, сульфат алюминия $Al_2(SO_4)_3$, алюминат натрия $NaAlO_2$, хлорид железа ($FeCl_3$), сульфаты железа (II и III), хлорированный железный купорос [19;20].

Преимущества $Al_2(OH)_5Cl \cdot 6H_2O$ в сравнении с $Al_2(SO_4)_3$ заключаются в:

- снижении дозы коагулянта в 2-3 раза;
- уменьшении времени коагуляции в 1,5-3,0 раза;
- возможности очищать воду в широком диапазоне температур;
- значительное уменьшение остаточного алюминия в обработанной воде;
- исключение применения дополнительных реагентов, используемых для корректировки pH среды.

Следует отметить, что соли трехвалентного железа также имеют ряд преимуществ по сравнению с сульфатом алюминия:

- улучшение коагуляционного процесса при низких температурах воды;
- pH среды практически не оказывает влияния на процесс осаждения;
- сокращение продолжительности отстаивания;

Однако соли трехвалентного железа имеют существенный недостаток. Этим недостатком является необходимость точного дозирования.

При нарушении режима дозирования может произойти «проскакивание» железа в очищенную воду [21].

Общим и главным недостатком реагентных способов очистки воды с последующим осаждением является образование токсичных осадков, вопрос утилизации которых стоит достаточно остро и по сей день.

В поисках решения проблемы утилизации токсичных осадков хромосодержащих сточных вод в США был предложен способ получения неопасных осадков сточных вод, содержащих тяжелые металлы.

Идея способ состоит в осаждении тяжелых металлов с помощью фосфорной кислоты. Главным преимуществом этого способа является значительно меньшая растворимость фосфатов, чем гидроксидов и сульфатов тех же металлов.

Процесс выделения осадков тяжелых металлов включает следующие стадии:

- добавление фосфорной кислоты или ее кислой соли к водному раствору из расчета моль фосфата на моль тяжелого металла;
- понижение pH до 3 с помощью добавления H_2SO_4 ;
- добавление коагулянта $FeCl_3$ в концентрации 0.75-1.5 г/дм³;
- увеличение pH раствора до 8.5 добавлением гидроксида кальция и получение осадка, включающего скоагулированные фосфаты металлов;
- обезвоживание осадка.

Хром (VI) в сточных водах восстанавливают до хрома (III) метабисульфитом натрия между 2-й и 4-й ступенью. В качестве флокулянта используют ионный полимер [22].

В последнее время все большее применение находит новый высокоэффективный титановый коагулянт, описанный в журнале «Экология и промышленность России». Данный реагент позволяет удалять из сточной воды ионы тяжелых металлов.

Эффективность очистки составляет 50–67% [23].

Помимо известных коагулянтов для обработки сточных вод гальванического производства могут быть использованы различные глины, содержащие алюмоотходы производства, травильные растворы, пасты и шлаки, имеющие в своем составе диоксид кремния [24].

Для интенсификации процессов хлопьеобразования принято использовать высокомолекулярные вещества – флокулянты. В очистке сточных вод могут быть использованы природные и синтетические флокулянты [25].

К достоинствам реагентного метода можно отнести:

- широкий интервал начальных концентраций ИТМ;
- универсальность;
- простота эксплуатации;
- отсутствует необходимость в разделении промывных вод и концентратов;

Недостатками данного метода являются следующие факторы:

- несоответствие остаточных концентраций хрома ПДК для рыбохозяйственных водоемов;
- громоздкость оборудования;
- значительный расход реагентов;
- дополнительное загрязнение сточных вод в связи с использованием реагентов, повышающих солесодержание.

- невозможность возврата в оборотный цикл очищенной воды из-за повышенного солесодержания.
- затрудненность извлечения из шлама тяжелых металлов для утилизации.
- потребность в значительных площадях для шламоотвалов [26].

1.3 Биологический метод

В ходе длительной эволюции живые организмы приспособились ко многим неблагоприятным условиям. Присутствие тяжелых металлов в среде является одним из этих условий. Живые организмы сумели научиться вовлекать некоторые из тяжелых металлов в важные метаболические процессы. Именно по этой причине появилась возможность использования этих организмов для очистки сточных вод от тяжелых металлов.

Биологические методы очистки находят все более широкое применение благодаря таким немаловажным факторам, как низкий расход энергии, отсутствие вторичного загрязнения воды, относительно невысокие эксплуатационные расходы, способность обеспечивать жесткие нормативы условий сброса [17].

Биологический метод является альтернативой использованию химических реагентов. В его основе лежит самоочищение водоемов и способность растений и микроорганизмов накапливать тяжелые металлы. Интересен также факт, что тяжелые металлы необходимы некоторым микроорганизмам и водорослям для полноценного функционирования ферментов. Металлы – как в катионной, так и в анионной форме проникают внутрь клетки по специальным транспортным системам.

Высокая аккумулятивная способность микроводорослей по отношению к тяжелым металлам создает перспективы их использования при очистке сточных вод. Существующий опыт в биотехнологии показывает, что эффективность аккумулялирования достигает 95% [27].

К бактериям, способным трансформировать высокотоксичный шестивалентный хром в малотоксичный, относятся бактерии родов *Pseudomonas*, *Aeromonas* и *Escherichia*. Они могут спокойно переносить концентрацию ионов Cr^{6+} выше 200 мг/л, время очистки составляет от 1 до 3 сут. При увеличении концентрации хроматов до 350 и 500 мг/л время очистки возрастает соответственно до 20 и 60 сут. [26].

Фирмой «Oak Ridge» (штат Тенесси) был предложен биологический способ выделения хрома, где в качестве сорбента используют шарики размером с булавочную головку, полученные из морских водорослей, которые содержат около 1 млн микроорганизмов каждый. Извлечение проводится по принципу кипящего слоя в колоннах. После насыщения сорбент отфильтровывают, сушат и сжигают, получая концентрат сорбируемых примесей [28].

В связи с этим использование биосорбционных процессов для очистки хромсодержащих сточных вод считается перспективным. Сущность биосорбции состоит в совмещении сорбции загрязнений из сточных вод

сорбентом и биохимического потребления компонентов сточных вод микроорганизмами, развивающимися на поверхности сорбента. В качестве сорбентов можно использовать гранулированный активный уголь (ГАУ) марки СКТ. Обработку стоков с шестивалентным хромом проводят в анаэробных условиях [29].

Сульфатредуцирующие бактерии (СРБ) имеют необычную способность очищать сточные воды, содержащие в своем составе одновременно тяжелые металлы и сульфаты. Именно эта их особенность привлекает пристальное внимание исследователей.

Сульфатредуцирующие бактерии используют в процессе дыхания кислород сульфатов в качестве акцептора водорода, восстанавливая их при этом до сероводорода. Сероводород, как сильный восстановитель, реагирует с растворенными ионами тяжелых цветных металлов и образует нерастворимые сульфиды, выпадающие в осадок. Продолжительность очистки может составлять от 20 до 25 суток. Количество бактерий – $10^2 \dots 10^3$ клеток/мл. Для эффективного удаления тяжелых металлов рекомендуются следующие допустимые концентрации в сточных водах, поступающих на сооружения биологической очистки в мг/дм³ : $Pb^{2+} - 0,1$; $Cu^{2+} - 0,5$; $Mn^{2+} - 30$; $Cr^{3+} - 2,5$; $Zn^{2+} - 1,0$; $Fe^{3+} - 5,0$ [30].

Достоинства метода

- непрерывность процесса очистки;
- снижение эксплуатационных затрат по сравнению с химическими и физико-химическими;
- исключение реагентного хозяйства;

Недостатки метода:

- чувствительность микроорганизмов к изменению состава сточных вод и повышению концентрации токсичных компонентов;
- значительные занимаемые площади;
- недостаточный эффект очистки;
- длительность технологического процесса.

1.4 Электрохимические методы

Стоит отметить, что в настоящее время извлечение тяжелых металлов из сточных вод гальванического производства электрохимическими методами находят все большее практическое применение.

Все электрохимические методы основаны на протекании химических процессов на электродах при пропускании через воду постоянного электрического тока. К данным методам принято относить электрокоагуляцию, электрофлотуляцию и гальванокоагуляцию [31].

Несравненным плюсом электрохимического метода является его прогрессивность, эффективность в сравнении с химическим методом, возможность извлечения ценных металлов из сточных вод, а также

компактность и сравнительно простая возможность автоматизации. Основной недостаток этого метода – значительный расход электроэнергии.

1.4.1. Метод электрокоагуляции

Электрокоагуляция – один из методов перевода примесей, находящихся в коллоидной степени дисперсности в грубодисперсное состояние. Основан этот метод на множестве физико-химических процессов, протекающих в жидкости под воздействием электрического тока [21].

В процессе электрокоагуляции происходит растворение алюминиевых или железных анодов, приводящее к образованию гидроксидов металлов, которые в данном случае выступают в качестве коагулянтов [32].

При прохождении хромосодержащих стоков через межэлектродное пространство происходит электролиз. В результате электролиза на электродах восстанавливаются или окисляются компоненты электролита.

На алюминиевых анодах наблюдаются реакции:



Однако стоит отметить, что данные реакции проходят не в результате воздействия электрического тока, а в связи с химическим растворением в результате взаимодействия металла с окружающей средой.

Используя в качестве анодов из алюминия или железа наиболее вероятно осуществление следующих реакций:



Для алюминиевых анодов оптимальная плотность тока лежит в пределах 2–15 мА/см². Для железа увеличение скорости растворения наблюдается в пределах плотности тока 1–10 мА/см².

На алюминиевом катоде возможно протекание реакций взаимодействия алюминия с водой с выделением пузырьков водорода:



Отрицательный эффект на протекание электрокоагуляции оказывает пассивация, тормозящая процесс активного окисления металлов.

На поверхности алюминия пассивация описывается следующими реакциями:



Активность алюминиевого анода при этом снижается.

Повышение температуры воды препятствует пассивации электродов, увеличивает скорость растворения оксидной пленки, уменьшает ее толщину и защитные свойства. Разрушение оксидной пленки интенсифицируется при введении хлорид-ионов в хромсодержащие обрабатываемые сточные воды, сорбция которых на алюминии с повышением температуры возрастает.

Использование асимметричного переменного тока успешно борется с образованием оксидной пленки [33;34].

Достоинства метода

- соответствие очистки стока от соединений Cr^{6+} требованиям ПДК;
- высокая производительность;
- простота эксплуатации и автоматизации;
- малые занимаемые площади;
- малая чувствительность к изменениям параметров процесса;
- получение шлама с хорошими структурно-механическими свойствами;
- исключение реагентного хозяйства;
- высокий бактерицидный эффект электрического тока и как следствие снижение расхода реагентов на обеззараживание воды.

Недостатки метода:

- значительный расход электроэнергии;
- значительный расход металла растворимых анодов и их пассивация;
- невозможность возврата воды в оборотный цикл из-за повышенного солесодержания;
- потребность в значительных площадях для шламоотвалов;
- необходимость наличия электрооборудования (выпрямители тока, электрощиты, электрокабель, электроарматура);
- периодическая замена электродного блока [32;35].

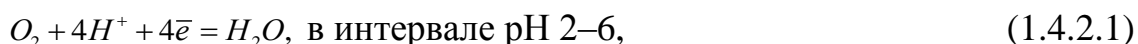
1.4.2. Метод гальванокоагуляции

Гальванокоагуляция была предложена еще в 1975 году Р. И. Остроушко и относится к числу перспективных электрохимических методов очистки сточных вод гальванического производства [36].

Метод гальванокоагуляции является наиболее близким по характеристикам к методу электрокоагуляции. В основе метода также лежит электрохимическая обработка сточной воды в электрическом поле под действием электрического тока. Однако электрический ток здесь возникает при переменном контакте гальванопары.

Гальванопара состоит из имеющих различные стандартные потенциалы в водных растворах электродов. По данным Прокопенко В.А. в качестве гальванопары могут быть использованы: металлургический кокс (графит, уголь) – железо, кокс – алюминий, кокс – медь, кокс – сплав железа с марганцем (природный ферромарганец), железо – медь [37]. Для удаления токсичных металлов чаще прочих используют гальванопару кокс-железо [38].

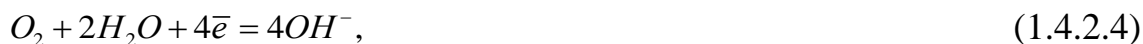
Механизм очистки определяется электрохимическими окислительно-восстановительными процессами, происходящими во время контактирования очищаемой воды, воздуха и бесконечного множества короткозамкнутых гальванических элементов [39]. При замыкании гальванопары на поверхности кокса должна протекать преимущественно катодная реакция восстановления кислорода с подщелачиванием раствора и образованием гидроксидов металлов с последующей ферритизацией:



На поверхности железа – анодная реакция окисления железа[40]:



На активной нагрузке возможно протекание нескольких сопряженных реакций:



Исходя из этих данных, можно сделать вывод, что для протекания процесса гальванокоагуляционной очистки необходима интенсификация аэрации очищаемой воды и увеличение удельной поверхности катодного материала. [21;41]

Метод гальванокоагуляции был успешно апробирован институтом «Казмеханобр», АО «Союзцветметавтоматика», МИСиС, Иреа-Пензмаш,

ВНИИ химической технологии, Новосибирский государственным проектно-изыскательским институтом «ВНИПИ-ЭТ», НПФ «Гальвано-Эко». [42-44]

Достоинства метода

- очистка до требований ПДК от соединений Cr(VI).
- использование в качестве расходного материала отходов производства (металлической, железной стружки)
- малая энергоемкость и низкие эксплуатационные затраты;
- снижение солесодержания;
- значительное сокращение использования химических реагентов.

Недостатки метода

- высокая трудоемкость при смене загрузки.
- необходимость больших избытков реагента (железа).
- большие количества осадка. [21; 45].

1.4.3. Метод электрофлотации

Электрофлотация относится к электрохимическим методам очистки. Процесс протекает благодаря образованию при электролизе пузырьков газа [32;45].

На аноде возникают пузырьки кислорода, а на катоде водорода.

На аноде процесс окисления сопровождается выделением кислорода:



На катоде происходит разряд молекул воды с образованием водорода:



Диаметр пузырьков водорода составляет от 20 до 100 мкм. Мелкие пузырьки способствуют повышению эффективности флотации. Однако для получения пузырьков требуемого размера необходимо правильно подобрать материал, форму, диаметр проволоки катода и плотность тока [46;47]. Зависимость количества и размер образующихся пузырьков водорода на катодах из проволоки поверхности электрода и его кривизны была изучена Б.М. Матовым [48].

При использовании растворимых электродов образуются скоагулированные хлопья, которые благодаря пузырькам газа, поднимающимся по сточной воде, флотируются и выносятся на поверхность в виде пены.

Конструкции электрофлотаторов достаточно просты. При электрофлотации целесообразнее всего применять электроды с развитой поверхностью в виде металлических сеток, пористых металлокерамических материалов, насадок или перфорацией тонкопроводящей основы. Исследования показали, что сетки из нержавеющей стали оказались более эффективным по

сравнению с вертикально расположенными пластинчатыми графитовыми катодами. [49;50;51].

Достоинства метода

- незначительный расход реагентов;
- простота эксплуатации и обслуживания;
- малые площади, занимаемые оборудованием;
- возможность регулирования степени очистки путем изменения только одного параметра;
- отсутствие вторичного загрязнения.

Недостатки метода

- незначительное (до 30%) снижение общего солесодержания очищаемых стоков;
- аноды из дефицитного материала;
- необходимость предварительной очистки воды от грубодисперсных примесей;
- расход электроэнергии, ее дороговизна;

1.5 Мембранные методы

Мембранные процессы разделения основаны на проницаемости одного или нескольких компонентов жидкой либо газовой смеси, а также коллоидной системы через разделительную перегородку. Фаза, прошедшая через нее, называется фильтратом (иногда - пермеатом), задержанная – концентратом. Мембраны представляют собой тончайшие пленки ионообменного материала. Содержащего активные группы, диссоциирующие в воде, распределенные в очень тонких порах, пронизывающих всю структуру мембраны

Среди методов мембранного разделения выделяют: микрофильтрацию, ультрафильтрацию, нанофильтрацию, обратный осмос, испарение через мембраны, диализ, электродиализ.

Наибольшие успехи в отношении эффективности и технологичности выделения цветных металлов достигнуты при использовании обратного осмоса, ультрафильтрации и электродиализа [52].

В современной России мембранные технологии также занимают ведущие позиции. Усовершенствование инновационных, энергосберегающих технологий, в том числе и мембранной, является приоритетным направлением развития промышленности. Так, решением Правительственной комиссии по научно-технической политике от 21 июля 1996 г. мембранная технология получила статус критической технологии федерального уровня.

1.5.1 Обратный осмос

Обратным осмосом и ультрафильтрацией называют процессы фильтрования растворов через полупроницаемые мембраны под давлением, превышающим осмотическое. Давление, необходимое для проведения процесса

обратного осмоса 6 - 10 МПа, что значительно больше, чем для проведения процесса ультрафильтрации 0,1 – 0,5 МПа.

Мембраны пропускают молекулы растворителя, задерживая растворенные вещества. При обратном осмосе выделяются частицы (молекулы, гидратированные ионы), размеры которых не превышают размеров молекул растворителя. При ультрафильтрации размер отдельных частиц на порядок больше. Эффективность очистки сточных вод от хрома при обратном осмосе равна 94 – 95%.

Известно, что с повышением значения pH скорость фильтрования уменьшается в 3 – 4 раза, но при более низких значениях pH срок службы мембран значительно уменьшается.

Чаще всего мембранные методы очистки используют в основном для обессоливания шахтных вод, при этом тяжелые металлы выделяются попутно.

Стоит отметить, что применение мембранных технологий требует значительных капитальных затрат. Необходимы сооружения предварительной очистки сточных вод от веществ, способствующих их засорению и обрастанию.

Так на территории России применение мембранных методов довольно ограничено высокой стоимостью и сложностью эксплуатации мембран. Мембраны, изготавливаемые во Владимире, достаточно быстро забиваются органическими соединениями и соединениями железа, всегда присутствующими в сточных водах в концентрациях более 0,3 мг/дм³ [27].

Достоинства метода:

- очистка сточной воды до требований ПДК;
- возможность возврата очищенной воды до 60% в оборотный цикл;
- возможность утилизации тяжелых металлов;

Недостатки метода:

- необходимость предварительной очистки сточных вод от масел, ПАВ, растворителей, органики, взвешенных веществ.
- дефицитность и дороговизна мембран.
- сложность эксплуатации, высокие требования к герметичности установок.
- большие площади, высокие капитальные затраты.
- чувствительность мембран к изменению параметров очищаемых стоков.

1.5.2 Метод электродиализа

Этот метод основан на избирательном переносе ионов через перегородки, изготовленные из ионитов (мембраны) под действием электрического тока. Чаще всего используют блоки из чередующихся анионо- и катионообменных мембран. Ионообменные мембраны проницаемы только для ионов, имеющих заряд того же знака, что и у подвижных ионов.

Метод электродиализной очистки сточных вод за рубежом приобретает все более широкое распространение, несмотря на его сравнительно высокую стоимость, затраты электроэнергии и материалов.

Электродиализ позволяет обезвреживать как малоконцентрированные стоки, так и отработанные электролиты. Тем самым он создает замкнутые системы водооборота в гальванической промышленности.

В качестве экстрагента может быть использован раствор трибутилфталата или четвертичных аммониевых оснований в керосине или других углеводородах. Регенерацию растворителя проводят водой, растворами солей Na^+ и K^+ и щелочами.

Несмотря на очевидные теоретические преимущества, эти методы пока не получили широкого распространения в отечественной промышленности. Основной причиной этого является высокая капиталоемкость. На распространение влияет и тот факт, что выпускаемые серийно электродиализаторы имеют большое межмембранное расстояние (2 мм), что ведет к увеличению их размеров, росту омических потерь, а также снижению удельной производительности аппаратов.

В США кампания General Electric запатентовала систему ионообменного извлечения хромовой кислоты из сточных вод электролитического хромирования. Суть разработанной системы состоит в извлечении ионов хрома при пропускании очищаемого стока через анионообменные мембраны. Ионы хрома соединяются с ионами водорода, прошедшими через катионообменные мембраны. В результате образуется хромовая кислота. Хромовую кислоту возвращают в производство и степень извлечения кислоты составляет 99,8%, а процесс идет непрерывно [21].

При обработке сточных вод на поверхности ионообменных мембран может образовываться осадок. Японской фирмой «Хитати пуранто кэнсэцу к.к.» был предложен метод нейтрализации этого явления. Введение фосфата в состав обрабатываемого стока, с последующим барботированием в камерах между мембранами, решает эту проблему.

Другой японской фирмой «К.к. Тамозгава сэйсокусе» предложена конструкция разделительного элемента типа «фильтр-пресс». Его особенность заключается в элементе, входящем в конструкцию пластины, под которой размещается полимерная мембрана.

С целью снижения сопротивления потоку обрабатываемой сточной воды на плоской поверхности мембраны имеются продольные или поперечные неглубокие канавки для равномерного распределения жидкости и снижения концентрационной поляризации. Исследования показали, что эта система может быть применена и для регенерации растворов, содержащих хром в виде Cr^{3+} [53].

Широкое распространение имеют мембранные биореакторы, мембрана в которых может быть носителем для микроорганизмов и выполнять разделительную функцию. Для использования мембран с иммобилизованными бактериями для очистки воды от шестивалентного хрома в диализном режиме необходимы одинаковые скорости диффузии хромата через мембрану и биохимической реакции, что в первую очередь зависит от концентрации хрома. Восстановление хроматов в биореакторе возможно проводить в режиме

периодического внесения небольших порций хроматов, при этом начальная концентрация хрома (VI) не должна превышать 20 мг/дм^3 [54].

Достоинства метода

- возможность очистки до требований ПДК;
- возврат очищенной воды до 60% в оборотный цикл;
- возможность утилизации ценных компонентов;
- отсутствие фазовых переходов при отделении примесей;
- возможность проведения реакций при комнатных температурах без применения или с небольшими добавками химических реагентов;
- простота конструкций аппаратуры.

Недостатки метода

- необходимость предварительной очистки стоков от масел, ПАВ, органики, растворителей, солей жесткости, взвешенных веществ;
- значительный расход электроэнергии;
- дефицитность и дороговизна мембран;
- чувствительность к изменению параметров очищаемых вод.

1.6 Методы сорбции

Сорбция – один из наиболее эффективных методов глубокой очистки сточных вод. Сорбентами служат мелкодисперсные вещества, обладающие развитой поверхностью. Сорбционные методы являются распространенными, экологически чистыми и эффективными. Они прекрасно подходят для выделения хрома из сточных вод гальванопроизводства.

Выделяют следующие основные методы сорбции:

- сорбция на активированном угле (адсорбционный обмен);
- сорбция на ионитах (ионный обмен);

1.6.1. Адсорбционный метод

При удалении ионов хрома из сточных вод методом адсорбции чаще всего используют различного рода активированные угли [55;56], соединения железа, например, сорбент $\text{Fe}(\text{OH})_3$ [57], железный скрап, различные природные биоматериалы, такие как сорбент коры эвкалипта (СКЭ), древесные опилки, летучую золу, семена бобовых культур [58], кератиносодержащие материалы (шерсть, перья, рога) [58], отходы гидролизного лигнина [60;61], а также производственные отходы: золы и шлаки [62;63].

Пожалуй, самыми распространенными и наиболее универсальными из адсорбентов являются активированные угли. Однако существует перечень необходимых требований. Угли должны обладать определенными свойствами:

- слабо взаимодействовать с молекулами воды и хорошо с органическими веществами;
- быть относительно крупнопористыми;
- иметь высокую адсорбционную емкость;

- обладать малой удерживающей способностью при регенерации;
- иметь высокую прочность;
- обладать высокой смачиваемостью;
- иметь малую каталитическую активность;
- иметь низкую стоимость.

Эффективными в извлечении шестивалентного хрома являются угли типа БАУ и ОУ (сорбционная емкость 24 мг/г).

При извлечении шестивалентного хрома из гальваностокосов необходимо осуществлять интенсивное взаимодействие адсорбента со сточной водой. При смешивании активированного угля с раствором используют уголь в виде частиц диаметром 0,1 мм и меньше, а предварительная обработка адсорбентов азотной кислотой повышает их сорбционную способность [64].

Хром (VI) адсорбируется на активированном угле в виде анионов HCrO_4^- и CrO_4^{2-} .

Стоит отметить, что основным фактором, определяющим эффективность сорбции, является величина pH. Сорбция приходит с максимальным эффектом при $\text{pH} = 4$.

Гранулированный активный уголь, насыщенный нитрогуминовой кислотой, обладает высокой поглотительной способностью по отношению к ионам тяжелых металлов. Фильтрацию рекомендуется приводить со скоростью 13 м/ч при высоте слоя сорбента более 1,3 м и размере гранул 0,4 мм, время контакта с загрузкой 5-6 мин [65].

Для извлечения тяжелых металлов из сточных вод во многих работах используют минеральные сорбенты. Наиболее распространенным минеральным сорбентом для очистки воды от ионов тяжелых металлов являются глинистые породы.

По физико-химическим свойствам их разделяют на несколько групп:

- дисперсные кремнеземы осадочного происхождения, на 68–99% состоящие из аморфной двуокиси кремния;
- слоистые алюможелезوماгниево-силикатные с расширяющейся структурой;
- слоисто-ленточные алюможелезوماгниево-силикатные;
- алюможелезوماгниево-силикатные с жесткой структурой [66;67] .

В работах Лебедь А. Б., Тимофеева К. Л. Используются сорбенты нового поколения: КФГМ, Глинт. Представленные адсорбенты представляет собой искусственный пористый гранулированный материал, получаемый на основе природных компонентов [68;69].

Достоинства адсорбционного метода очистки:

- очистка до требований ПДК;
- возможность рекуперации сорбированных веществ;
- возможность возврата очищенной воды после корректировки pH.

Недостатки метода:

- невысокая производительность сорбционных установок;

- природные сорбенты применимы для ограниченного круга примесей и их концентраций;
- громоздкость оборудования;
- ограничение работы материалов по областям pH исходной воды;
- сложность регенерации [70].

1.6.2. Метод ионного обмена

Метод ионного обмена считается перспективным для очистки многокомпонентных слабоконцентрированных сточных вод. Этот метод целесообразно применять при концентрации тяжелых металлов в стоках 1,0- 1,5 мг/л [71].

Несмотря на то, что метод ионного обмена в основном применяется в водоподготовке, он позволяет рекуперировать ценные вещества с высокой степенью извлечения, а также повторно использовать сточные воды в оборотном водоснабжении [72].

Ионный обмен – это процесс взаимодействия очищаемой воды с твердой фазой, которая обладает свойствами обменивать ионы, содержащиеся в ней, на ионы, присутствующие в растворе. Вещества, составляющие эту твердую фазу, называются ионитами. Метод основан на обмене между ионами, находящимися в растворе и ионами, присутствующими на поверхности ионообменного материала. В процессе фильтрования обменные катионы и анионы заменяются катионами и анионами, извлекаемыми из сточных вод. Однако это приводит к истощению обменной способности материалов. Возникает необходимость их регенерации. Наибольшее практическое значение для очистки сточных вод приобрели синтетические ионообменные смолы. К ним относятся силикагели, пермутиты, труднорастворимые оксиды и гидроксиды некоторых металлов (алюминия, хрома, циркония). Катионообменные свойства силикагеля обусловлены обменом ионов водорода гидроксильных групп на катионы металлов, проявляющиеся в щелочной среде. Катионообменными свойствами обладают и пермутиты, получаемые сплавлением соединений, содержащих алюминий и кремний [73].

Для перевода шестивалентного хрома в трехвалентное состояние можно использовать специальные ячейки с разделенными мембраной анодным и катодным пространствами. Отработку оптимальных условий и режима процесса восстановления шестивалентного хрома осуществляют и проточными катодными и анодными объемами с разными электродными материалами, различными мембранами и при различных нагрузках на электролизер [74].

Применяя высокоселективные химически и гидrolитически стойкие пиридиносодержащие сорбенты в совокупности с замкнутым водооборотом удается обезвредить промышленные стоки до требуемых норм и вернуть их в

оборот. При этом удастся предотвратить загрязнение водоемов токсичными продуктами, а также существенно сократить расход потребляемой воды (на 80%) на нужды производства в условиях ее дефицита.

Достоинства метода:

- возможность очистки сточной воды до требований ПДК;
- возврат очищенной воды до 95% в оборот.
- возможность утилизации тяжелых металлов.
- возможность совместного удаления различных по природе примесей.

Недостатки метода:

- необходимость глубокой предварительной очистки сточных вод от масел, ПАВ, растворителей, органики, взвешенных веществ, что несет значительные капитальные и эксплуатационные затраты;
- работа с опасными реагентами для регенерации ионитов и обработки смол;
- необходимость предварительного разделения промывных вод от концентратов и образование вторичных отходов-элюатов;
- дороговизна и дефицитность сорбентов.

В заключение литературного обзора отмечу, что в настоящее время существует широкий спектр всевозможных методов, дающих возможность эффективно обезвреживать сточные воды гальванопроизводства. Однако наиболее прогрессивными являются электрохимические методы. Они позволяют корректировать физико-химические свойства обрабатываемой жидкости, рекуперировать ценные металлы из сточных вод, а также дают возможность повторного использования обработанной воды в производстве и значительно упрощают и уменьшают технологические схемы. В большинстве случаев электрохимические способы являются экологически чистыми, так как исключают вторичное загрязнение воды анионными и катионными остатками, характерными для реагентных способов.

Наибольшее внимание заслуживает гальванокоагуляционный метод обезвреживания сточных вод, содержащих ионы цветных металлов [75]. Стоит отметить, что высокая эффективность гальванокоагуляционной очистки работающей в широком диапазоне концентраций в совокупности с простотой технологической схемы и сниженными энергозатратами позволяют сделать вывод о перспективности использования гальванокоагуляции для очистки хромсодержащих стоков. По данным, опубликованным в монографии [76], стоимость переработки 1 м³ воды методом гальванокоагуляции составляет всего 0,1–0,3 доллара. Однако несмотря на то, что в настоящее время известны более совершенные методы очистки хромсодержащих стоков, подавляющее большинство предприятий продолжает использовать в своей практике реагентную обработку [77].

2. Изучение процесса очистки сточных вод реагентным методом

2.1 Исследование процесса реагентной очистки хромсодержащих сточных вод по методу Бокса-Хантера

подавляющее большинство металлообрабатывающих предприятий в своем составе имеют гальванические цеха или технологические участки нанесения гальванопокрытий. Одним из токсичных компонентов гальванического производства является Cr^{6+} . В практике очистки хромсодержащих стоков наибольшее применение находит реагентный метод обработки сульфатом FeSO_4 [1,2].

Целью данной исследовательской работы являлось изучение процесса реагентного обезвреживания хромсодержащих сточных вод для выбора оптимальных режимов обработки.

Эксперименты по очистке хромсодержащих стоков на первом этапе были поставлены по ротатабельному плану второго порядка Бокса-Хантера.

Ротатабельным называют планирование, для которого дисперсия отклика постоянная во всех точках, находящихся на равном расстоянии от центра эксперимента.

Следует отметить, что методы планирования эксперимента и обработки его результатов, разработанные на основе теории вероятностей и математической статистики, существенно позволяют (зачастую в несколько раз) сократить число необходимых опытов.

В качестве факторов, от которых зависит процесс очистки были приняты следующие: X_1 – исходная концентрация Cr^{6+} , мг/дм³; X_2 – pH; X_3 – доза FeSO_4 , мг/дм³. Оценочным критерием являлась остаточная концентрация ионов хрома, мг/дм³. Параметры плана приведены в таблице 2.1.1

Таблица 2.1.1 – Факторы и интервалы варьирования

Фактор	Интервал	+1,68	+1	0	-1	-1,68
X_1	30	145,4	125	95	65	40,6
X_2	0,5	2,84	2,5	2	1,5	1,16
X_3	100	518	450	350	250	182

Факторы и уровни их варьирования выбраны на основе предварительных экспериментов. Оценочным критерием принята остаточная концентрация хрома в стоке, мг/дм³.

Матрица планирования эксперимента приведена в приложении А в таблице А1. Число опытов в матрице планирования равно 20, $k=3$.

Опираясь на полученные данные таблицы А.1, рассчитываем коэффициенты уравнений регрессии второго порядка и их ошибки, дисперсию и значимость коэффициентов (приложение А).

В общем виде уравнение регрессии выглядит следующим образом:

$$\hat{Y}=b_0+b_1\cdot X_1+b_2\cdot X_2+b_3\cdot X_3+b_{12}\cdot X_1X_2+b_{13}\cdot X_1X_3+b_{23}\cdot X_2X_3+b_{11}\cdot X_1^2+b_{22}\cdot X_2^2+b_{33}\cdot X_3^2 \quad (2.1.1)$$

Табличное значение критерия Стьюдента для уровня значимости $\alpha=0,05$ и числа степеней свободы $f=5$ равно 2,57.

Отсеиваем незначимые коэффициенты, приведенные в приложении А, для которых t -отношение меньше табличного и получаем уравнение регрессии в безразмерном масштабе, относительно остаточной концентрации хрома:

$$Y_1 = 0,129 + 0,74X_1 - 0,076X_2 - 0,715X_3 - 0,124X_1X_2 + 0,084X_2X_3 + 0,65X_1^2 - 0,35X_2^2 + 0,492X_3^2 \quad (2.1.2)$$

Расчет остаточной дисперсии и дисперсии адекватности приводится в приложении А.

Значение критерия Фишера при $f_{ад}=6$, $f_0=5$ и $\alpha=0,05$, вычисленное с помощью встроенной функции электронных таблиц Microsoft Excel ФРАСПОБР, равно $F_T=4,39$.

Поскольку $F_p < F_T$ ($2,82 < 4,39$) (приложение А, формула А.25), то вычисленное уравнение регрессии адекватно описывает полученные экспериментальные данные.

Уравнение регрессии по остаточной концентрации ионов Cr^{6+} приводим к натуральному виду и затем, изменяя сочетания и значения параметров, определяем необходимые графические зависимости. Все соответствующие расчеты получения уравнения регрессии в натуральном масштабе представлены в приложении А.

Уравнение регрессии в натуральном масштабе имеет вид:

$$Y_1 = 0,0007 \cdot Z_1^2 - 1,4 \cdot Z_2^2 + 0,00005 \cdot Z_3^2 - 0,094 \cdot Z_1 + 5,64 \cdot Z_2 - 0,044 \cdot Z_3 - 0,008 \cdot Z_1 \cdot Z_2 + 0,002 \cdot Z_2 \cdot Z_3 + 7,102 \quad (2.1.3)$$

Построение зависимости остаточной концентрации хрома шестивалентного от дозы FeSO_4 .

$$\begin{aligned} Z_1 &= 95 \\ Z_2 &= 1,5 \end{aligned}$$

где Z_1 – исходная концентрация Cr^{6+} , мг/дм³;
 Z_2 – pH среды;
 Z_3 – доза реагента, мг/дм³.

Подставляя известные значения исходной концентрации и pH среды в уравнение 2.1.2 получим:

$$Y_1 = 0,0007 \cdot 95^2 - 1,4 \cdot 1,5^2 + 0,00005 \cdot Z_3^2 - 0,094 \cdot 95 + 5,64 \cdot 1,5 - 0,044 \cdot Z_3 -$$

$$-0,008 \cdot 95 \cdot 1,5 + 0,002 \cdot 1,5 \cdot Z_3 + 7,102 \quad (2.1.4)$$

Z_3	182	250	350	450	518
Y	3,39	2,08	0,975	0,875	1,378

Меняем переменную Z_2 на 2,5. Получим следующее уравнение:

$$Y_1 = 0,0007 \cdot 95^2 - 1,4 \cdot 2,5^2 + 0,00005 \cdot Z_3^2 - 0,094 \cdot 95 + 5,64 \cdot 2,5 - 0,044 \cdot Z_3 - 0,008 \cdot 95 \cdot 2,5 + 0,002 \cdot 2,5 \cdot Z_3 + 7,102 \quad (2.1.5)$$

Z_3	182	250	350	450	518
Y	2,498	1,315	0,415	0,515	1,15

Принимаем $Z_2=2$:

$$Y_1 = 0,0007 \cdot 95^2 - 1,4 \cdot 2^2 + 0,00005 \cdot Z_3^2 - 0,094 \cdot 95 + 5,64 \cdot 2 - 0,044 \cdot Z_3 - 0,008 \cdot 95 \cdot 2 + 0,002 \cdot 2 \cdot Z_3 + 7,102 \quad (2.1.6)$$

Z_3	182	250	350	450	518
Y	3,03	1,78	0,775	0,775	1,346

По полученным данным строим зависимость остаточной концентрации Cr^{6+} от дозы FeSO_4 (приложение А, рисунок А.1)

С помощью Microsoft Excel получаем уравнения аппроксимации, описывающие каждую из зависимостей:

$$y_1 = 0,3318x_3^2 - 2,5138x_3 + 5,6315, \quad (2.1.7)$$

$$y_2 = 0,3318x_3^2 - 2,4266x_3 + 5,1699, \quad (2.1.8)$$

$$y_3 = 0,3318x_3^2 - 2,3394x_3 + 4,5483 \quad (2.1.9)$$

Построение зависимости остаточной концентрации хрома шестивалентного от pH среды.

$$Z_1=95$$

$$Z_3=250$$

где Z_1 – исходная концентрация Cr^{6+} , мг/дм³;
 Z_2 – pH среды;
 Z_3 – доза реагента, мг/дм³.

Подставляя известные значения исходной концентрации и дозы реагента в уравнение 2.1.2 получим:

$$Y_1 = 0,0007 \cdot 95^2 - 1,4 \cdot Z_2^2 + 0,00005 \cdot 250^2 - 0,094 \cdot 95 + 5,645 \cdot Z_2 - 0,044 \cdot 250 - 0,008 \cdot 95 \cdot Z_2 + 0,002 \cdot Z_2 \cdot 250 + 7,102 \quad (2.1.10)$$

Z_2	1,16	1,5	2	2,5	2,84
Y	0,97	1,54	1,78	1,32	0,61

Принимаем дозу реагента $Z_3=450$ мг/дм³:

$$Y_1 = 0,0007 \cdot 95^2 - 1,4 \cdot Z_2^2 + 0,00005 \cdot 450^2 - 0,094 \cdot 95 + 5,645 \cdot Z_2 - 0,044 \cdot 450 - 0,008 \cdot 95 \cdot Z_2 + 0,002 \cdot Z_2 \cdot 450 + 7,102 \quad (2.1.11)$$

Z_2	1,16	1,5	2	2,5	2,84
Y	-0,36	0,34	0,78	0,53	-0,5

Принимаем дозу реагента $Z_3=350$ мг/дм³:

$$Y_1 = 0,0007 \cdot 95^2 - 1,4 \cdot Z_2^2 + 0,00005 \cdot 350^2 - 0,094 \cdot 95 + 5,645 \cdot Z_2 - 0,044 \cdot 350 - 0,008 \cdot 95 \cdot Z_2 + 0,002 \cdot Z_2 \cdot 350 + 7,102 \quad (2.1.12)$$

Z_2	1,16	1,5	2	2,5	2,84
Y	-0,20	0,44	0,78	0,42	-0,22

По полученным данным строим зависимость остаточной концентрации Cr^{6+} от pH исходного среды (приложение А, рисунок А.2).

С помощью Microsoft Excel получаем уравнения аппроксимации, описывающие каждую из зависимостей:

$$y_1 = -0,2333x_2^2 + 1,2988x_2 - 0,097, \quad (2.1.13)$$

$$y_2 = -0,2333x_2^2 + 1,4741x_2 - 1,6188, \quad (2.1.14)$$

$$y_3 = 0,2322x_2^2 + 1,3869x_2 - 1,3612 \quad (2.1.15)$$

Построение зависимости остаточной концентрации хрома шестивалентного от исходной концентрации.

$$Z_2=2$$

$$Z_3=250$$

Подставляя известные значения исходной концентрации и дозы реагента в уравнение 2.1.2 получим:

$$Y_1 = 0,0007 \cdot Z_1^2 - 1,4 \cdot 2^2 + 0,00005 \cdot 250^2 - 0,094 \cdot Z_1 + 5,64 \cdot 2 - 0,044 \cdot 250 - 0,008 \cdot Z_1 \cdot 2 + 0,002 \cdot 2 \cdot 250 + 7,102 \quad (2.1.16)$$

Z ₁	40,6	65	95	125	145,4
Y	2,59	1,71	1,77	3,09	4,71

Принимаем дозу реагента Z₃=450 мг/дм³:

$$Y_1 = 0,0007 \cdot Z_1^2 - 1,4 \cdot 2^2 + 0,00005 \cdot 450^2 - 0,094 \cdot Z_1 + 5,64 \cdot 2 - 0,044 \cdot 450 - 0,008 \cdot Z_1 \cdot 2 + 0,002 \cdot 2 \cdot 450 + 7,102 \quad (2.1.17)$$

Z ₁	40,6	65	95	125	145,4
Y	1,57	0,69	0,75	2,07	3,69

Доза реагента Z₃=350, мг/дм³:

$$Y_1 = 0,0007 \cdot Z_1^2 - 1,4 \cdot 2^2 + 0,00005 \cdot 350^2 - 0,094 \cdot Z_1 + 5,64 \cdot 2 - 0,044 \cdot 350 - 0,008 \cdot Z_1 \cdot 2 + 0,002 \cdot 2 \cdot 350 + 7,102$$

Z ₁	40,6	65	95	125	145,4
Y	1,59	0,71	0,77	2,09	3,71

По полученным данным строим зависимость остаточной концентрации Cr⁶⁺ от исходной концентрации Cr⁶⁺ (приложение А, рисунок А.3).

С помощью Microsoft Excel получаем уравнения аппроксимации, описывающие каждую из зависимостей:

$$y_1 = 0,4468x_2^2 - 2,1195x_2 + 4,2215, \quad (2.1.18)$$

$$y_2 = 0,4468x_2^2 - 2,1195x_2 + 3,2015, \quad (2.1.19)$$

$$y_3 = 0,4468x_2^2 - 2,1195x_2 + 3,2215. \quad (2.1.20)$$

2.2 Исследование процесса реагентной очистки хромосодержащих сточных вод методом Брандона

На втором этапе исходный материал был обработан по методу Брандона,

Первоочередной задачей было нахождение условного значения параметра оптимизации:

$$y_0 = \frac{y}{y'}, \quad (2.2.1)$$

где y – объем выборки;
 y' – усредненный выходной параметр.

По точкам выбирались величины $y_0, x_1, x_2 \dots x_k$. Строилось поле корреляции и эмпирическая линия регрессии y_0 - x и определялся \min зависимости:

$$y' \cdot x_1 = f_1(x_1), \quad (2.2.2)$$

Коэффициенты уравнения находились методом наименьших квадратов. Сравнивалась выборка новой величины:

$$y_1 = \frac{y_0}{f_1(x_1)}, \quad (2.2.3)$$

Новая величина уже не зависит от x_1 и определяется параметрами $x_2, x_3, x_4 \dots x_{n-1}$. По точкам первой выборки величины y_1 и y_2 строились корреляционное поле и регрессионная линия, характеризующая зависимость y_1 от x_2 .

Процесс продолжался до получения выборки величины:

$$y_n = y_n = \frac{y_{n-1}}{f(x_n)} = \frac{y}{f_1(x_1) \cdot f_2(x_2) \dots f_n(x_n)}, \quad (2.2.4)$$

Эта величина зависит от всех факторов $x_1, x_2 \dots x_n$ и определяет коэффициент уравнения:

$$\hat{y}_n = k = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_{ni}, \quad (2.2.5)$$

где N – объем выборки.

Для метода Брандона немаловажное значение имеет расположение факторов в порядке убывания степени влияния на переменную состояния. По этой причине: X_1 – исходная концентрация Cr^{6+} , мг/дм³; X_2 – доза FeSO_4 , мг/дм³; X_3 – рН среды.

Расчеты сведены в таблицу А.4 в приложении А.

В ходе обсчета для определения порядка полинома по эмпирической линии регрессии методом Брандона были построены следующие графические зависимости, представленные в приложении А на рисунках А.4 – А.6.

Опираясь на полученные с помощью зависимостей уравнения аппроксимации, была получена модель, описывающая процесс реагентной очистки хромосодержащих сточных вод:

$$Y = 0,67 \cdot (0,0007 X_1^2 - 0,098 X_1 + 3,698) \cdot (0,00001 X_2^2 - 0,11 X_2 + 22,47) \cdot (-1,01 X_3^2 + 4,05 X_3 - 3,72), \quad (2.2.6)$$

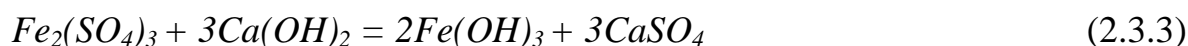
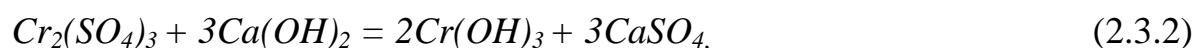
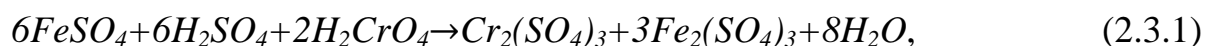
где X_1 – исходная концентрация Cr^{6+} , мг/дм³;
 X_2 – доза FeSO_4 , мг/дм³;
 X_3 – pH;
 Y – остаточная концентрация хрома в стоке, мг/дм³

2.3 Определение свойств и состава осадка хромосодержащих сточных вод

Свойства осадков зависят от метода и типа сооружений, принятых для очистки сточных вод, от условий их эксплуатации и выбранного способа обработки осадков.

В ходе работы был получен осадок с помощью добавления реагента FeSO_4 и щелочи для корректировки pH и непосредственном осаждении труднорастворимых соединений.

Химическое взаимодействие хромосодержащих стоков и реагента FeSO_4 определяется кинетикой окислительно-восстановительного процесса и описывается следующими уравнениями:



В результате проведения процесса обезвреживания хромосодержащих сточных вод были определены свойства и состав образовавшегося осадка.

Основными свойствами, характеризующими осадок, является его влажность, плотность и удельное сопротивление.

Полученный в процессе реагентной обработки хромосодержащих сточных вод осадок был собран и разделен на 2 равные части.

Одна из частей была просушена в сушильном шкафу при 105°C и прокалена в печи при 800°C, были определены потери при прокаливании.

Результаты исследований представлены в таблице 2.3.1.

Таблица 2.3.1 – Свойства осадка хромосодержащих сточных вод

Влажность осадка W, %	Плотность осадка ρ , г/см ³	Сухой остаток при 105°C, г/дм ³	Остаток после прокаливании при 800°C, г/дм ³	Потери при прокаливании, г/дм ³	Потери при прокаливании, %	Удельное сопротивление, см/г
98,9	0,88	9,1	2,53	6,57	72,2	$136 \cdot 10^{10}$

Оставшийся осадок был исследован на удельное сопротивление (приложение А, рисунок А.7), которое составляет $136 \cdot 10^{10}$ см/г.

Дальнейшие исследования осадка были проведены с помощью термогравиметрического анализа, позволившего определить состав осадка.

Термограмма осадка, приведенная в приложении А, рисунок А.5, снималась на приборе NETZSCH STA 449F1 в режиме: ДСК-ТГ, в атмосфере А2, в диапазоне 30/20.0 (К/мин)/1000.

На термограмме осадка (рисунок А.8) на кривой ДСК наблюдаются два эндотермических эффекта: $t = 1300^\circ\text{C}$, $t = 1700^\circ\text{C}$, относящихся к дегидратации гипса, первый эффект объясняется удалением 1,5 молекул воды, второй – оставшейся 0,5 молекулы воды.

При этих эффектах ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$) масса образца уменьшается на 21,98 %, что ярко отображено на кривой изменения массы. Экзотермический эффект при $t = 324,3^\circ\text{C}$ связан с окислением FeO до Fe_2O_3 .

Термические эффекты при $t = 450^\circ\text{C}$ и $t = 550^\circ\text{C}$, свидетельствуют о наличии в образце осадка гетита.

При $t = 551^\circ\text{C}$ возможен переход соединения Fe_3O_4 из ферромагнитного состояния в парамагнитное. Термический эффект при $t = 700^\circ\text{C}$ указывает на наличие, в исследуемом осадке, карбоната кальция.

Отмечу, что зная состав осадка, можно предложить методы его безопасной утилизации.

3 Технологический расчет сооружений очистки хромсодержащих сточных вод

3.1 Технологическая схема №1. Гальванокоагуляционный метод обезвреживания сточных вод, содержащих ионы Cr^{6+}

Усреднитель → Фильтр-грязевик → Гальванокоагулятор → Ферритизатор → Вертикальный отстойник со встроенной камерой хлопьеобразования → Скорый фильтр с зернистой загрузкой → РЧВ → Установка ультрафильтрации → Резервуар глубокоочищенной воды.

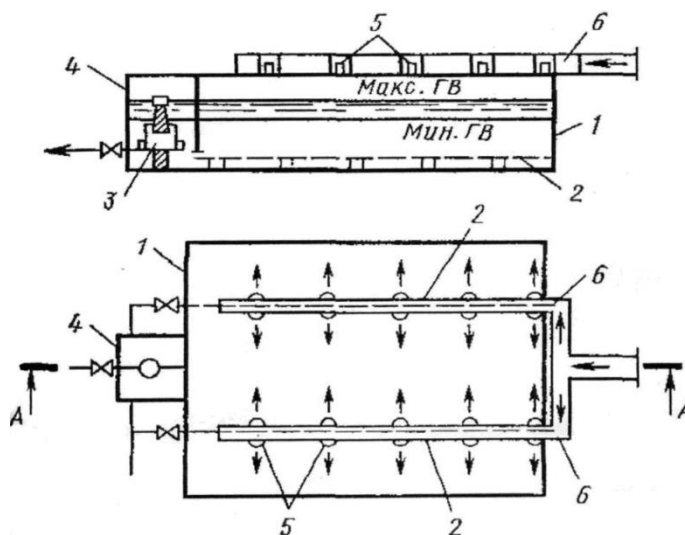
В таблице 3.1.1 приведены расчетные расходы сточной жидкости хромсодержащих сточных вод, поступающих на очистку.

Таблица 3.1.1 – Расчетные расходы сточных вод

Вид сточных вод	$Q_{\text{сут}}, \text{м}^3/\text{сут}$	$Q_{\text{час}}, \text{м}^3/\text{ч}$	$Q_{\text{сек}}, \text{м}^3/\text{с}$
Хромстоки	50	6,25	0,00174

3.1.1 Расчет усреднителя сточных вод

Для обеспечения нормальной работы очистных сооружений усредняют расход сточной воды и концентрации веществ, находящихся в ней. Для усреднения расхода и количества загрязнений применяют контактный и проточный усреднитель. Резервуар усреднитель с перемешиванием жидкости с помощью воздуха.



1 - резервуар усреднитель; 2- барботер; 3- выпускное устройство; 4- выпускная камера; 5- впускные отверстия; 6-подающие лотки.

Рисунок 3.1.1.1 – Резервуар-усреднитель

Расчет усреднителя ведется с учетом времени контакта 8 часов и приведен в приложении Б.

Для барботаж сточных вод в усреднителе принимаем одну рабочую и одну резервную воздуховодку марки ВК-1,5М1.

Частота вращения воздуходувки составляет 1500 об./мин, мощность электродвигателя 5,5 кВт, масса агрегата 135 кг, размеры агрегата (с воздуходувкой): 615 x 285 x 346 мм.

Для подачи воды от усреднителя далее по схеме, принимаем насос ВКС 2/21, подача которого составляет 7,2 м³/ч, напор – 26 м; Ндв – 1,53 кВт.

3.1.2 Расчет фильтра-грязевода

Для выделения из сточных вод мелкодиспергированных примесей могут применяться фильтры-грязевики, оборудованные сетчатыми элементами.

Рабочую площадь сеток находят по формуле

$$F_c = \frac{Q_{\text{ч}} \cdot k_1}{T \cdot k_2 \cdot v_c}, \quad (3.1.2.1)$$

где $Q_{\text{ч}}$ – производительность очистной станции, м³/ч;

k_1 – коэффициент учитывающий увеличение производительности сетчатого фильтра за счет очистки промывной воды;

v_c – скорость движения воды в сетке;

k_2 – коэффициент учитывающий площадь фильтрующей поверхности;

T – время работы сооружения, ч.

$$F_c = \frac{6,25 \cdot 1,03}{8 \cdot 0,55_2 \cdot 5} = \text{м}^2$$

Концентрация взвешенных веществ после фильтра-грязевода определяется по формуле

$$C_{\text{взв}} = C_{\text{исх}} \cdot 0,8, \quad (3.1.2.2)$$

где $C_{\text{исх}}$ – исходная мутность воды, мг/дм³

$$C_{\text{взв}} = 50 \cdot 0,8 = 40 \text{ мг} / \text{дм}^3$$

В таблице 3.1.2.1 приведены расчетные расходы сточной жидкости после фильтра-грязевода.

Таблица 3.1.2.1– Расчетные расходы после фильтра-грязевода

Вид сточных вод	$Q_{\text{сут}}, \text{м}^3/\text{сут}$	$Q_{\text{час}}, \text{м}^3/\text{ч}$	$Q_{\text{сек}}, \text{м}^3/\text{с}$
Хромстоки	50	6,25	0,00174

3.1.3 Расчет гальванокоагулятора

Производительность гальванокоагулятора для хромсодержащих стоков 6,25 м³/ч. Принимаем 3 рабочих гальванокоагулятора.

Все расчеты по подбору гальванокоагулятора приведены в приложении Б.

По результатам расчетов (приложение Б) технические характеристики одного ГК-модуля следующие:

- производительность 2,08 м³/ч;
- габаритные размеры:
 - высота 2,5 м;
 - диаметр 0,6 м;
- диаметр центрального стержня 0,05м;
- высота активной загрузки 1,7 м;
- масса железной стружки 3510 кг;
- масса углеродминерального сорбента (СГН) 47 кг;
- минимальная продолжительность работы модуля 210,9 сут;
- максимальная потребляемая мощность не более 0,5 кВт ч/м³.

3.1.4 Расчет ферритизатора

Ферритизатор выполнен по типу вихревой камеры реакции. Ферритизатор имеет форму обратной пирамиды или конуса с углом между его стенками 50-70°, верхняя надставка – с вертикальными стенками. Вода подается со скоростью 0,8-1 м/с. Время пребывания в камере 6-10 минут.

Принимаем 2 ферритизатора. Расчет ферритизатора приведен в приложении Б.

3.1.5 Приготовление растворов реагентов

Для интенсификации процесса коагуляции применяем полиакриламид (ПАА) в дозе $D_{ПАА}=0,3$ мг/дм³

Производительность мешалки определяется по формуле

$$q_M = \frac{Q_{сут} \cdot D_{ПАА}}{8 \cdot 1000}, \quad (3.1.5.1)$$

где $Q_{сут}$ – суточная производительность, м³/сут;
 $D_{ПАА}$ – доза полиакриламида, мг/дм³.

$$q_M = \frac{50 \cdot 0,3}{8 \cdot 1000} = 0,00188 \text{ кг/ч}$$

Перед подачей сточных вод на обезвреживание требуется довести pH до 2,3. Дозу серной кислоты H₂SO₄ определяем по формуле

$$pH = -\lg \frac{x}{49}, \quad (3.1.5.2)$$

где 49 – эквивалентная масса H_2SO_4

$$4 = -(\lg X - \lg 49) = -\lg X + \lg 49$$

$$\lg 49 = 1,6902;$$

$$\lg X = 1,6902 - 4 = -2,3098,$$

$$X_1 = 0,005 \text{ г/дм}^3;$$

По вышеприведенным формулам 5.1.5.2

$$2,3 = -(\lg X - \lg 49) = -\lg X + \lg 49$$

$$\lg 49 = 1,6902;$$

где 49 – эквивалентная масса H_2SO_4

$$\lg X = 1,6902 - 2,3 = -0,6098, \quad (3.1.5.3)$$

$$X_2 = 0,246 \text{ г/дм}^3$$

Доза кислоты определяется как разница концентраций кислоты в сточной воде, необходимой для установки требуемого уровня pH и концентрации кислоты в исходной воде.

$$D_k = X_2 - X_1 \quad (3.1.5.4)$$

$$D_k = 0,246 - 0,005 = 0,241 \text{ г/дм}^3$$

Дозу серной кислоты H_2SO_4 принимаем 0,24 г/дм³, что составляет 1,6 кг/сут.

Емкость бака для приготовления раствора H_2SO_4 определяется по формуле

$$W_k = \frac{q_t \cdot n \cdot D_k}{1000 \cdot B_k \cdot \gamma_k}, \quad (3.1.5.5)$$

где n – время, за которое изготавливают кислоту, $n=6-12$ ч;

D_k – доза кислоты, $D_k=240$ мг/дм³;

B_k – концентрация серной кислоты, $B_k=5\%$;

γ_k – объемный вес раствора серной кислоты, $\gamma_k=1$ т/м³.

$$W_K = \frac{6,25 \cdot 6 \cdot 240}{1000 \cdot 5 \cdot 1} = 1,8 \text{ м}^3$$

Диаметр бака для приготовления кислоты определяется по формуле

$$d = \sqrt[3]{\frac{W_K \cdot 4}{\pi}}, \quad (3.1.5.6)$$

где W_K – емкость бака для приготовления раствора H_2SO_4 , м^3 .

$$d = \sqrt[3]{\frac{1,8 \cdot 4}{3,14}} = 1,3 \text{ м}$$

Принимаем диаметр бака 1,3 м.

Мощность двигателя мешалок с горизонтальными лопастями определяется по формуле

$$N = 0,004 \cdot \rho \cdot h_L \cdot n^3 \cdot d_0^4 \cdot z \cdot \eta \cdot \psi, \quad (3.1.5.7)$$

где ρ – объемный вес раствора, $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$;

h_L – высота лопасти, $h_L = 0,25 \text{ м}$;

n – число оборотов мешалки, $n = 0,67 \text{ об/сек}$;

d_0 – диаметр окружности, описываемой концом лопасти, $d_0 = 0,8 \text{ м}$;

z – число парных лопастей на валу мешалки, $z = 2$;

η – КПД, $\eta = 0,6$;

ψ – коэффициент учета увеличения струи жидкости, перемещаемой лопастью мешалки, $\psi = 1,344$.

$$N = 0,004 \cdot 1000 \cdot 0,25 \cdot 0,67^3 \cdot 0,8^4 \cdot 2 \cdot 0,6 \cdot 1,344 = 0,2 \text{ кВт}$$

Площадь склада кислоты определяется по формуле

$$F_{\text{скл}}^u = \frac{Q_{\text{сут}} \cdot D_K \cdot T \cdot \alpha}{10000 \cdot P_c^K \cdot h_c^K \cdot G_o^K}, \quad (3.1.5.8)$$

где $Q_{\text{сут}}$ – суточный расход сточной воды, $\text{м}^3/\text{сут}$

$P_c^K = 100\%$;

D_K – доза кислоты, $D_K = 240 \text{ мг/дм}^3$;

h_c^K – высота склада реагентов, $h_c^K = 1,5 \text{ м}$;

$G_o^K = 1,98 \text{ т/м}^3$.

$$F_{скл}^{II} = \frac{50 \cdot 240 \cdot 60 \cdot 1,15}{10000 \cdot 100 \cdot 1,5 \cdot 1,98} = 0,35 м^2$$

3.1.6 Приготовление раствора NaOH

Перед подачей обезвреженных сточных вод на отстойники их pH следует довести с 6 до 7,8. Дозу NaOH определяем руководствуясь [38] и [51]

Экспериментальным путем установлено, что на подщелачивание раствора требуется 6,4 кг/сут NaOH.

Количество щелочи определяется по формуле

$$W_{II} = \frac{q_u \cdot n \cdot D_{щ}}{10000 \cdot B_{II} \cdot \gamma_{II}}, \quad (3.1.6.1)$$

где n – время, за которое изготавливают щелочь, $n=6-12$ ч;

$D_{щ}$ – доза NaOH, $D_{щ}=320$ мг/дм³;

B_{II} – концентрация гидроксида натрия, $B_{II}=5\%$;

γ_{II} – объемный вес гидроксида натрия, $\gamma_{II}=1$ т/м³.

$$W_{II} = \frac{6,25 \cdot 6 \cdot 320}{10000 \cdot 5 \cdot 1} = 0,24 м^3$$

Диаметр бака определяется по формуле

$$d = \sqrt[3]{\frac{W_{II} \cdot 4}{\pi}}, \quad (3.1.6.2)$$

где W_{II} – емкость бака для приготовления раствора NaOH, м³.

$$d = \sqrt[3]{\frac{0,24 \cdot 4}{3,14}} = 0,6 м.$$

Принимаем диаметр бака 0,6 м.

Мощность двигателя мешалок с горизонтальными лопастями определяется по формуле:

$$N = 0,004 \cdot \rho \cdot h_{л} \cdot n^3 \cdot d_0^4 \cdot z \cdot \eta \cdot \psi, \quad (3.1.6.3)$$

где ρ – объемный вес раствора, $\rho=1000$ кг/м³;

$h_{л}$ – высота лопасти, $h_{л}=0,25$ м;

n – число оборотов мешалки, $n=0,67$ об/сек;

d_0 – диаметр окружности, описываемой концом лопасти, $d_0=0,3$ м;

z – число парных лопастей на валу мешалки, $z=2$;

η – КПД, $\eta=0,6$;
 ψ – коэффициент учета увеличения струи жидкости, перемещаемой лопастью мешалки, $\psi=1,344$.

$$N = 0,004 \cdot 1000 \cdot 0,25 \cdot 0,67^3 \cdot 0,3^4 \cdot 2 \cdot 0,6 \cdot 1,344 = 0,198 \text{ кВт}$$

Площадь склада щелочи определяется по формуле

$$F_{\text{скл}}^u = \frac{Q_{\text{сут}} \cdot D_u \cdot T \cdot \alpha}{10000 \cdot P_c^u \cdot h_c^u \cdot G_o^u}, \quad (3.1.6.4)$$

где $P_c^u = 100\%$;

D_u – доза щелочи, $D_u = 32 \text{ мг/дм}^3$;

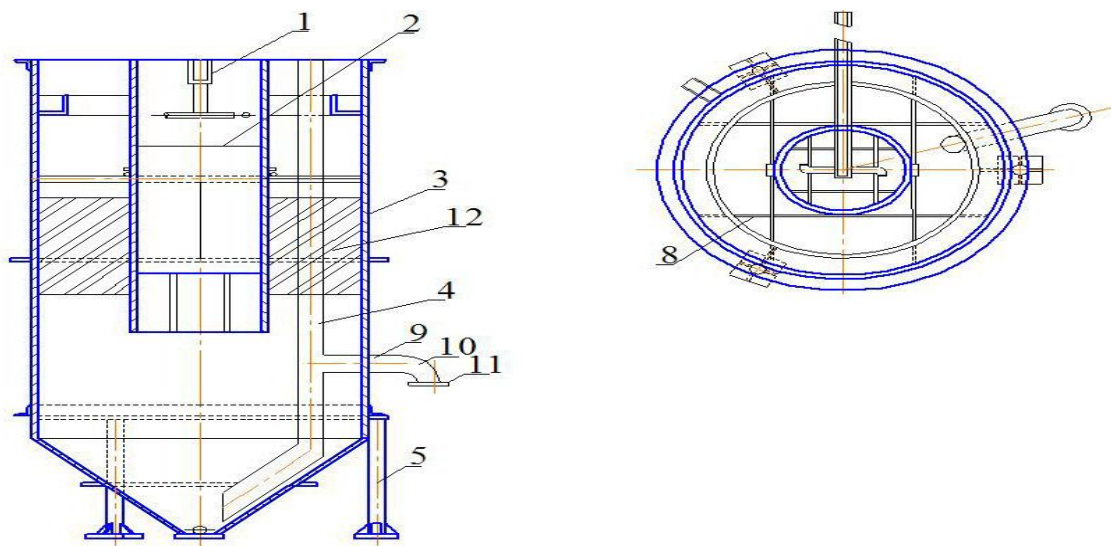
h_c^u – высота склада реагентов, $h_c^k = 1.5 \text{ м}$;

$G_o^u = 1,59 \text{ т/м}^3$;

$Q_{\text{сут}}$ – суточный расход сточной воды, $\text{м}^3/\text{сут.}$

$$F_{\text{скл}}^u = \frac{50 \cdot 320 \cdot 60 \cdot 1,15}{10000 \cdot 100 \cdot 1,5 \cdot 1,59} = 0,46 \text{ м}^2$$

3.1.7 Расчет вертикального отстойника со встроенной водоворотной камерой хлопьеобразования



- 1 - Лоток; 2 - Камера хлопьеобразования; 3- Каркас; 4- Трубопровод отвода осадка;
 5 - Стойка; 6 - Косынка; 7 - Пластина; 8 - Труба; 9 - Стандартное изделие; 10 -
 Отвод; 11 - Фланец; 12 - Тонкослойный элемент.

Рисунок 3.1.8.1 – Вертикальный отстойник со встроенной камерой хлопьеобразования

$Q_{\text{ч}}=6,25 \text{ м}^3/\text{ч}$ – расход сточной воды, поступающий на сооружение.
 Количество рабочих отстойников принимаем $N=1$
 Площадь одной камеры хлопьеобразования определяется по формуле

$$f_{\kappa} = \frac{Q_{\text{ч}} \cdot T}{60 \cdot H_1 \cdot N}, \quad (3.1.7.1)$$

где N – число вертикальных отстойников, шт.;
 H_1 – высота камеры хлопьеобразования, 1,5 м;
 T – время контакта 15-20 мин;
 $Q_{\text{ч}}$ – часовой расход сточных вод, $\text{м}^3/\text{ч}$.

$$f_{\kappa} = \frac{6,25 \cdot 15}{60 \cdot 1,5 \cdot 1} = 0,52 \text{ м}^2$$

Высота камеры определяется по формуле

$$H_1 = 0,9 \cdot H_{\text{отс}}, \quad (3.1.7.2)$$

где $H_{\text{отс}}$ – высота вертикального отстойника, м.

Тогда высота отстойника:

$$H_{\text{отс}} = \frac{H_{\kappa}}{0,3}, \quad (3.1.7.3)$$

где H_{κ} – высота камеры хлопьеобразования, м.

$$H_{\text{отс}} = \frac{1,5}{0,9} = 1,7 \text{ м}$$

Диаметр камеры хлопьеобразования определяется по формуле

$$d_{\kappa} = 1,13 \cdot \sqrt{f_{\kappa}}, \quad (3.1.7.4)$$

где f_{κ} – площадь одной камеры хлопьеобразования, м^2 .

$$d_{\kappa} = 1,13 \cdot \sqrt{0,52} = 0,8 \text{ м}$$

Расход воды, поступающей в камеру, определяется по формуле

$$q_c = \frac{Q_q}{3600 \cdot N}, \quad (3.1.7.5)$$

где N – число вертикальных отстойников.
 Q_q – часовой расход сточных вод, м³/ч.

$$q_c = \frac{Q_q}{3600 \cdot N} = \frac{6,25}{3600 \cdot 1} = 0,0009 \text{ м}^3 / \text{с}$$

Диаметр сопла определяется по формуле

$$d_c = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{q_c}{\mu \cdot V_c}}, \quad (3.1.7.6)$$

где q_c – расход сточной воды, поступающей в камеру м³/ч.
 V_c – скорость выходящей воды, м/сек.

$$d_c = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{0,0009}{0,908 \cdot 3}} = 0,021 \text{ м}$$

Длина сопла определяется по формуле

$$l_c = \frac{d_c}{2} \cdot \text{ctg} \frac{\beta}{2}, \quad (3.1.7.7)$$

где d_c – диаметр сопла, мм;
 β – угол конусности насадки.

$$l_c = \frac{21}{2} \cdot \text{ctg} \frac{25}{2} = 47,36 \text{ мм}$$

Фактическая скорость выхода воды из сопла определяется по формуле

$$V_\phi = \frac{1,274 \cdot q_c}{d_c^2 \cdot \mu}, \quad (3.1.7.8)$$

где q_c – секундный расход сточной воды, поступающей в камеру, м³/с;
 d_c – диаметр сопла, м.

$$V_\phi = \frac{1,274 \cdot 0,0009}{0,021^2 \cdot 0,908} = 2,86 \text{ м} / \text{с}$$

Потери напора в сопле определяются по формуле

$$h_c = 0,06 \cdot V_{\phi}^2, \quad (3.1.7.9)$$

где V_{ϕ} – фактическая скорость выхода воды из сопла, м³/с.

$$h_c = 0,06 \cdot 2,86^2 = 0,491 \text{ м}$$

Площадь вертикального отстойника определяется по формуле

$$F = \beta \frac{q_{\text{ч}}}{3,6 \cdot N \cdot V_p}, \quad (3.1.7.10)$$

где $q_{\text{ч}}$ – часовой расход сточной воды, м³/с;

N – количество отстойников, шт;

$\beta = 1,5$ – коэффициент объёмного использования;

$V_p = 0,6$ – расчётная скорость восходящего потока воды в отстойнике, мм/с.

$$F = 1,5 \frac{6,25}{3,6 \cdot 1 \cdot 0,6} = 2,17 \text{ м}^2$$

Диаметр отстойника определяется по формуле

$$D = \sqrt{\frac{(F + f_{\text{кх}}) \cdot 4}{\pi}}, \quad (3.1.7.11)$$

где F – площадь отстойника, м²;

$f_{\text{кх}}$ – площадь камеры хлопьеобразования, м².

$$D = \sqrt{\frac{(2,17 + 0,23) \cdot 4}{3,14}} = 1,75 = 1,8 \text{ м}$$

Принимаем трубопровод для сброса осадка $d = 100 \text{ мм}$, тогда высота конической части при уклоне стен к горизонтали 50° :

$$h_{\kappa} = \frac{D - d}{2 \operatorname{tg}(90 - 50)} = \frac{1,8 - 0,1}{2 \cdot 0,84} = 1 \text{ м}$$

Объем осадочной конической части определяется по формуле

$$W_{oc} = \frac{\pi}{3} \cdot h_k \cdot \left[\left(\frac{D}{2} \right)^2 + \left(\frac{d}{2} \right)^2 + \frac{D}{2} \cdot \frac{d}{2} \right], \quad (3.1.7.12)$$

где D – диаметр отстойника, м;
 d – диаметр нижней части отстойника, м;
 h_k – высота конической части, м.

$$W_{oc} = \frac{3,14}{3} \cdot 1 \cdot \left[\left(\frac{1,8}{2} \right)^2 + \left(\frac{0,2}{2} \right)^2 + \frac{1,8}{2} \cdot \frac{0,2}{2} \right] = 1,81 \text{ м}^3$$

Концентрация взвеси определяется по формуле

$$C = M + k \cdot D_k + D_{щ}, \quad (3.1.7.13)$$

где C – средняя концентрация взвешенных веществ, мг/дм³;
 M – количество взвешенных веществ в исходной воде, мг/дм³;
 k – коэффициент, зависящий от вида коагулянта;
 D_k – доза коагулянта, мг/дм³.
 $D_{щ}$ – доза щелочи, мг/дм³.

$$C = 40 + 1 \cdot 24 + 32 = 96 \text{ мг} / \text{дм}^3$$

Период работы между сбросами осадка определяется по формуле

$$T = \frac{W_{oc} \cdot N \cdot \delta}{Q_{ч} \cdot (C - m)}, \quad (3.1.7.14)$$

где W_{oc} – объем осадочной конической части, м³;
 N – количество отстойников, шт;
 δ – концентрация уплотненного осадка;
 $Q_{ч}$ – часовой расход сточных вод, м³/ч;
 C – средняя концентрация взвешенных веществ, мг/дм³;
 m – допустимое количество взвеси в осветлённой воде, мг/дм³.

$$T = \frac{1,81 \cdot 2 \cdot 15000}{6,25 \cdot (96 - 10)} = 13,76 \text{ сут}$$

Потеря воды с осадком определяется по формуле

$$Q_{oc} = \frac{K_p \cdot (C - m)}{\delta} \cdot 100, \quad (3.1.7.15)$$

где K_p – коэффициент взвеси в воде;

C – средняя концентрация взвешенных веществ, мг/дм³;
 m – допустимое количество взвеси в осветлённой воде, мг/дм³;
 $\delta = 15000$ мг/л.

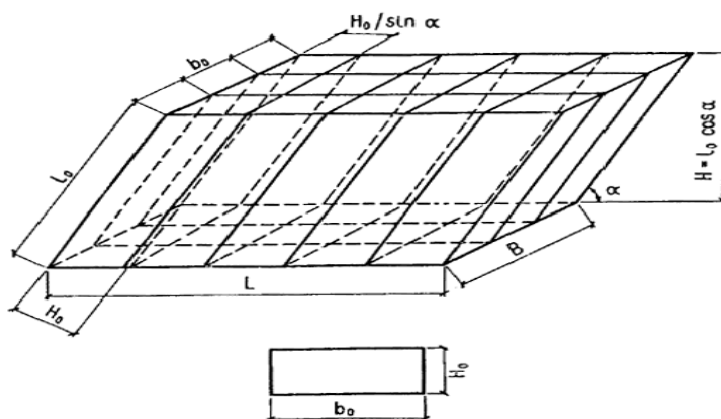
$$Q_{oc} = \frac{1,5 \cdot (96 - 10)}{15000} \cdot 100\% = 0,9\%$$

Потери составляют 0,9% от суточного расхода сточной воды.

3.1.8 Расчет тонкослойных элементов

Так как взвесь, содержащаяся в воде, имеет тонкодисперсную структуру, то для интенсификации процесса осветления, а также для сокращения продолжительности отстаивания необходимо интенсифицировать работу отстойников путем установки в них тонкопалочных блоков.

Тонкослойные элементы или блоки могут выполняться из мягких или полужестких полимерных пленок, соединенных в сотовую конструкцию, или из жестких листовых материалов в виде отдельных полок.



L_0 - длина тонкослойного элемента; b_0 - ширина тонкослойного элемента; H_0 - высота тонкослойного элемента; H - высота тонкослойного сотоблока; L - длина тонкослойного сотоблока; B - ширина тонкослойного сотоблока

Рисунок 3.1.11.1 - Конструктивные параметры тонкослойных элементов в блоке

Размеры в плане отдельных блоков для удобства их монтажа и эксплуатации следует принимать 1-1—1,5-1,5 м с учетом фактических размеров сооружения. Высоту поперечного сечения тонкослойного ячеистого элемента рекомендуется принимать равной 0,03-0,05 м. Ячейки могут быть приняты любой формы, исключающей накопление в них осадка. Угол наклона элементов необходимо принимать 50-60° (меньшие значения - для более мутных вод, большие - для маломутных цветных). Длину тонкослойных элементов следует определять специальным расчетом и принимать 0,9-1,5 м.

Тонкослойные элементы прямоугольного сечения имеют размеры в плане 0,05х0,05 м и угол наклона 60° при значениях $K_k = 0,75$ и $K_{он} = 0,7$

Обобщенные коэффициенты

$$K_1 = \frac{1}{(K_{cm} \cdot K_{ou} \cdot K_k)}, \quad (3.1.8.1)$$

где K_{cm} – принимается в среднем 0,7-0,8;

K_{ou} – коэффициент, учитывающий гидравлическое совершенство тонкослойного сооружения с степень его объемного использования, $K_{ou}=0,6$;

K_k – следует принимать по фактическим данным с учетом толщины материала для тонкослойных элементов, предварительно рекомендуется принимать его равным 0,7-0,95.

$$K_2 = \frac{\phi \cdot K_\phi \cdot K_{cm}}{\cos 60 \cdot \sin 60}, \quad (3.1.8.2)$$

где ϕ – коэффициент, учитывающий влияние гидродинамических условий потока в тонкослойных элементах;

K_ϕ – коэффициент, учитывающий форму поперечного сечения тонкослойных элементов, $K_\phi=1,0$, так как форма прямоугольная;

K_{cm} – коэффициент, учитывающий стеснение сечения потока в тонкослойном элементе сползающим осадком.

$$K_1 = \frac{1}{(0,7 \cdot 0,6 \cdot 0,7)} = 3,4,$$

$$K_2 = \frac{1,25 \cdot 1 \cdot 0,7}{0,5 \cdot 0,865} = 2,02$$

Длина тонкослойного блока определяется по формуле

$$L_0 = K_2 \cdot H_0 \left(\frac{K_1 \cdot V_n}{u_0 \cdot \beta \cdot K_{ae}} - 1 \right), \quad (3.1.8.3)$$

где K_1, K_2 , – обобщенные коэффициенты;

H_0 – высота тонкослойных элементов, $H_0=0,05$ м;

V_n – удельная нагрузка или производительность сооружения в расчете на площадь зеркала воды, м³/ч;

u_0 – расчетная скорость осаждения взвеси, $u_0=0,5$ мм/с

β – коэффициент, учитывающий стесненное осаждение взвеси под тонкослойными элементами;

K_{ae} – коэффициент агломерации, учитывающий влияние осадка, выделяющегося из тонкослойных элементов;

$$L_0 = 2,02 \cdot 0,05 \cdot \left(\frac{3,4 \cdot 3}{0,5 \cdot 1,15} - 1 \right) = 1,5 м$$

Осадок из отстойника перекачивается с помощью насоса ТРЕ 32-150/2 А-Е-А ВUВЕ, подача которого составляет 5,8 м³/ч, напор – 15 м, Ндв – 1,4 кВт, масса насоса – 26 кг

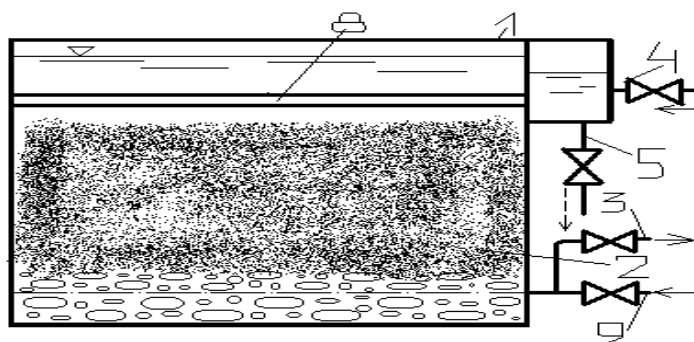
В таблице 3.1.11.1 приведены расчетные расходы сточных вод, изменившиеся после прохождения отстойника.

Таблица 3.1.8.1 – Расчетные расходы после тонкослойного отстойника с учетом потерь воды с осадком

Вид сточных вод	Q _{сут} , м ³ /сут	Q _{час} , м ³ /ч	Q _{сек} , м ³ /с
Хромстоки	49,55	6,19	0,0017

3.1.9 Скорый фильтр с зернистой загрузкой

Фильтрация применяют для осветления воды, т.е. задержания находящихся в воде взвешенных веществ. Фильтрация осуществляется путем пропуска воды через слой фильтрующего материала, представляющего собой пористую среду. Фильтр представляет собой резервуар, в нижней части которого расположено дренажное устройство, на которое укладывают слой поддерживающего материала и затем слой фильтрующей загрузки. Скорые фильтры используют для осветления мутных и цветных вод после коагулирования (и отстаивания) при реагентном умягчении. При скором фильтровании происходит быстрое загрязнение фильтра, требующее его очистки. Очистку фильтров производят путем промывки фильтрующей загрузки обратным током воды (чистой), подаваемой снизу через дренаж и проходящей через слой гравия и песка.



1 – корпус; 2 – фильтрующая загрузка; 3 – отвод фильтрата; 4 – подача исходной воды; 5 – отвод промывной воды; 6 – нижняя дренажная система(НДС) ; 7 – поддерживающий слой; 8 – желоб для сбора промывной воды; 9 – подача воды на промывку;

Рисунок 3.1.12.1 – Скорый фильтр с зернистой загрузкой

При фильтрации вода поступает на фильтр через карман 8 и желоб 5, проходит через слои песка и гравия и отводится с помощью распределительной системы 2. При промывке фильтр включается, промывная вода подается снизу через распределительную систему и проходит слои гравия и песка в обратном направлении. Промывка длится 5-7 минут с интенсивностью 12-18 л/с в зависимости от фракции загрузки. Количество фильтров на станции должно быть не менее четырех. Скорые фильтры рассчитываются на работу в нормальном и форсированных режимах.

Суммарная площадь фильтров определяется по формуле

$$F = \frac{Q_{\text{сут}}}{T \cdot V_{\text{р.н}} - 3,6 \cdot n \cdot w \cdot t_1 - n \cdot t_2 \cdot V_{\text{р.н}}}, \quad (3.1.9.1)$$

где $Q_{\text{сут}}$ – суточный расход сточных вод, м³/сут;
 T – время работы станции в течении суток, $T=8$ ч;
 w – интенсивность промывки, $w=12,5$ л/м²;
 t_1 – продолжительность промывки, $t_1=0,1$ ч;
 t_2 – простой фильтра в связи с промывкой, $t_2=0,55$ ч;
 n – число промывок фильтра в сутки $n=2$;
 $V_{\text{р.н.}}$ – скорость фильтрования при нормальном режиме, $V_{\text{р.н.}}=6$ м/ч.

$$F = \frac{49,55}{8 \cdot 6 - 3,6 \cdot 0,1 \cdot 12,5 \cdot 2 - 2 \cdot 0,55 \cdot 6} = 1,53 \text{ м}^2$$

Число фильтров рассчитывают по формуле

$$N = 0,5 \cdot \sqrt{F}, \text{ шт.} \quad (3.1.9.2)$$

где F – суммарная площадь фильтров, м²;

$$N = 0,5 \cdot \sqrt{1,53} = 1,1 \text{ шт.}$$

Принимаем 2 фильтра с зернистой загрузкой и один резервный.
 Площадь одного фильтра определяется по формуле

$$f = \frac{F}{N}, \quad (3.1.9.3)$$

где F – площадь фильтра, м²;

N – количество фильтров, шт.

$$f = \frac{1,53}{2} = 0,8 \text{ м}^2$$

Ширина фильтра определяется по формуле

$$B = \frac{f}{L}, \quad (3.1.12.4)$$

где f – площадь одного фильтра, м^2 .
 $L = 0,9 \text{ м}$;

$$B = \frac{0,8}{0,9} = 0,9 \text{ м}$$

Расчетная скорость фильтрования при форсированном режиме:

$$V_{p\phi} = V_{pн} \cdot \frac{N}{N-1}, \quad (3.1.9.5)$$

где $V_{pн}$ – скорость фильтрования при нормальном режиме, $V_{pн} = 6 \text{ м/ч}$.
 N – количество фильтров, шт.

$$V_{p\phi} = 6 \cdot \frac{2}{2-1} = 12 \text{ м/ч}$$

3.1.10 Распределительная система фильтра

Количество промывной воды определяется по формуле

$$q_{np} = f \cdot \omega, \quad (3.1.10.1)$$

где ω – интенсивность промывки фильтра, $\text{л/с} \cdot \text{м}^2$;
 F – суммарная площадь фильтров, м .

$$q_{np} = 1,53 \cdot 12,5 = 19,13 \text{ л/с} \Rightarrow 0,0191 \text{ м}^3 / \text{с}$$

Принимаем резервуар чистой промывной воды. Резервуар рассчитывается на 2 промывки фильтров в сутки. Для промывки требуется $34,38 \text{ м}^3$.

Принимаем размеры резервуара: $2 \times 4,2 \times 4,2 \text{ м}$.

Диаметр коллектора определяется по формуле

$$d_{кол} = \sqrt{\frac{4 \cdot q_{кол}}{\pi \cdot V_{кол}}}, \quad (3.1.10.2)$$

$$d_{кол} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0191}{3,14 \cdot 2}} = 0,110 м = 110 мм$$

Площадь фильтра на каждое ответвление распределительной системы определяется по формуле

$$f_{отв} = (L - d_{кол}) \cdot m, \quad (3.1.10.3)$$

где m – расстояние между ответвлениями, 0,27 м;
 L – длина фильтра, м;

$$f_{отв} = (2 - 0,11) \cdot 0,27 = 0,51 \text{ м}^2$$

Расход воды через ответвления определяется по формуле

$$q_{отв} = f_{отв} \cdot \omega, \quad (3.1.10.4)$$

где $f_{отв}$ – площадь фильтра на каждое ответвление распределительной системы, м^2 ;

ω – интенсивность промывки фильтра, л/с м^2 ;

$$q_{отв} = 0,51 \cdot 12,5 = 6,54 \text{ л/с} = 0,0065 \text{ м}^3 / \text{с}$$

Диаметр ответвления определяется по формуле

$$d_{отв} = \sqrt{\frac{4 \cdot q_{отв}}{\pi \cdot V_{отв}}}, \quad (3.1.10.5)$$

где $q_{отв}$ – расход воды через ответвления, л/с;

$$d_{отв} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0065}{3,14 \cdot 2}} = 0,063 м$$

Суммарная площадь отверстий определяется по формуле

$$\sum f_0 = \frac{\alpha \cdot f_{\phi}}{100}, \quad (3.1.10.6)$$

где f_{ϕ} – площадь фильтров, м^2 ;
 α – 0,25.

$$\sum f_0 = \frac{0,25 \cdot 1,53}{100} = 0,004 \text{ м}^2$$

Количество ответвлений в фильтре определяется по формуле

$$n = \frac{B}{m}, \quad (3.1.10.7)$$

где B – ширина фильтра, м;

$$n = \frac{0,8}{0,27} = 3 \text{ отв.}$$

Число отверстий ответвлений определяется по формуле

$$n_{\text{отв}} = \frac{\sum n_0}{n}, \quad (3.1.10.8)$$

где $\sum n_0$ – число отверстий фильтра, шт.;

n – количество ответвлений в фильтре, шт.

$$n_{\text{отв}} = \frac{50}{3} = 17 \text{ отв.}$$

Число отверстий фильтра определяется по формуле

$$\sum n_0 = \frac{\sum f_0}{f_0}, \quad (3.1.10.9)$$

где $\sum f_0$ – суммарная площадь отверстий, м².

f_0 – площадь одного отверстия, м².

Площадь одного отверстия определяется по формуле

$$f_0 = \frac{\pi \cdot d^2}{4}, \quad (3.1.10.10)$$

где d – диаметр отверстия, м.

$$f_0 = \frac{3,14 \cdot 0,01^2}{4} = 0,00008 \text{ м}^2,$$

$$\sum n_0 = \frac{0,004}{0,00008} = 50 \text{ отв}$$

Длина ответвления определяется по формуле

$$l_{отв} = L - d_{пр}, \quad (3.1.10.11)$$

где L – длина фильтра, м;

$$l_{отв} = 2 - 0,1 = 1,9 м$$

Шаг оси отверстий определяется по формуле

$$l_0 = \frac{l_{отв}}{n_{отв}}, \quad (3.1.10.12)$$

где $l_{отв}$ – длина ответвления, м;

$n_{отв}$ – количество ответвлений в фильтре

$$l_0 = \frac{1,9}{17} = 0,112 м = 112 мм$$

3.1.11 Отвод промывной воды

Расход воды на один желоб определяется по формуле

$$q_{жс} = \frac{q_{пр}}{\Pi_{жс}}, \quad (3.1.11.1)$$

где $\Pi_{жс}$ – количество желобов, шт.

$q_{пр}$ – количество промывной воды, м³/с;

$$q_{жс} = \frac{0,0191}{1} = 0,0191 м^3 / с$$

Высота кромки желоба:

$$\Delta h_{жс} = \frac{H_{\phi} \cdot l}{100} + 0,3, \quad (3.1.11.2)$$

где H_{ϕ} – высота фильтрующего слоя, м;

l – относительное расширение фильтрующей загрузки.

$$\Delta h_{жс} = \frac{0,7 \cdot 40}{100} + 0,3 = 0,58 м$$

Расчет воды на промывку фильтра:

$$P = \frac{\omega \cdot f \cdot t_1 \cdot 60 \cdot N}{Q_{\text{ч}} \cdot T_p \cdot 1000} \cdot 100\%, \quad (3.1.11.3)$$

где ω – интенсивность промывки фильтра, л/с·м².

f – площадь одного фильтра, м²;

t_1 – продолжительность промывки, ч;

N – количество фильтров, шт.;

$Q_{\text{ч}}$ – часовой расход сточной воды, м³/ч;

T_p – Время работы фильтра между промывками частей, ч.

$$P = \frac{12,5 \cdot 0,8 \cdot 6 \cdot 60 \cdot 2}{6,19 \cdot 7,4 \cdot 1000} \cdot 100\% = 15,03\%$$

Время работы фильтра между промывками частей определяется по формуле

$$T = T_0 - (t_1 + t_2 + t_3), \quad (3.1.11.4)$$

где t_1 – продолжительность промывки, 0,1 ч;

t_2 – простой фильтра в связи с промывкой, 0,33 ч;

t_3 – продолжительность сброса первого фильтрата в сток, 0,17ч;

T_0 – рабочий фильтроцикла, 8-12 ч;

$$T = 8 - (0,1 + 0,33 + 0,17) = 7,4\text{ч}$$

Расстояние от дна желоба до дна сборного канала определяется по формуле

$$H_{\text{кан}} = 1,73 \cdot \sqrt[3]{\frac{q_{\text{кан}}^2}{q \cdot B_{\text{кан}}^2}} + 0,2, \quad (3.1.11.5)$$

где $q_{\text{кан}} = q_{\text{пр}} = 0,0191\text{м}^3/\text{с}$;

$B_{\text{кан}}$ – ширина сборного канала, 0,7м.

$$H_{\text{кан}} = 1,73 \cdot \sqrt[3]{\frac{0,0191^2}{9,81 \cdot 0,7^2}} + 0,2 = 0,275\text{м}$$

Площадь сечения канала:

$$f_{кан} = B_{кан} \cdot H_{кан}, \quad (3.1.11.6)$$

где $B_{кан}$ – ширина сборного канала, м;
 $H_{кан}$ – расстояние от дна желоба до дна сборного канала, м.

$$f_{кан} = 0,7 \cdot 0,275 = 0,193 \text{ м}^2$$

Скорость движения воды в канале определяется по формуле

$$V_{кан} = \frac{q_{кан}}{f_{кан}}, \quad (3.1.11.7)$$

где $q_{кан} = q_{пр} = 0,0191 \text{ м}^3/\text{с}$;
 $f_{кан}$ – площадь сечения канала, м^2 .

$$V_{кан} = \frac{0,0191}{0,193} = 0,1 \text{ м/с}$$

3.1.12 Потери напора при промывке фильтра

Потери напора в распределительной системе фильтра определяются по формуле

$$h_{p.c.} = \left(\frac{2,2}{\alpha^2} + 1 \right) \cdot \frac{V_{кол}^2}{2g} + \frac{V_{p.m.}^2}{2g}, \quad (3.1.12.1)$$

где $V_{кол} = 1,25 \text{ м/с}$;
 $V_{p.m.} = 1,7 \text{ м/с}$;
 α – крупность зерен, 0,41.

$$h_{p.c.} = \left(\frac{2,2}{1,41^2} + 1 \right) \cdot \frac{1,25^2}{2 \cdot 9,81} + \frac{1,7^2}{2 \cdot 9,81} = 0,315 \text{ м}$$

Потери напора в фильтрующем слое определяются по формуле

$$h_{\phi} = (a + v \cdot \omega) \cdot H_{\phi}, \quad (3.1.12.2)$$

где a – крупность зерен, 0,6;
 ω – интенсивность промывки;
 v – параметры загрузки.

$$h_{\phi} = (0,6 + 0,017 \cdot 12,5) \cdot 0,7 = 0,57 \text{ м}$$

Потери напора в поддерживающих слоях определяется по формуле

$$h_{n.c} = 0,022 \cdot H_{n.c} \cdot w, \quad (3.1.12.3)$$

где w – интенсивность промывки;
 $H_{n.c}$ – высота поддерживающего слоя, м.

$$h_{n.c} = 0,022 \cdot 0,5 \cdot 12,5 = 0,14 \text{ м}$$

Потери напора в подводящем трубопроводе определяется по формуле

$$h_{n.m} = i \cdot l, \quad (3.1.12.4)$$

где i – гидравлический уклон трубопровода, 0,008;
 l – длина подводящего трубопровода, 10 м.
 $h_{n.m} = 0,008 \cdot 10 = 0,08 \text{ м}$

Потери в трубопроводах определяются по формуле

$$h_{o.c} = \frac{V^2}{2 \cdot g}, \quad (3.1.12.5)$$

$$h_{o.c} = \frac{2,7^2}{2 \cdot 9,81} = 0,37 \text{ м}$$

Потери напора в местных сопротивлениях определяется по формуле

$$h_{m.c.} = \sum \zeta \frac{V_{\text{кол}}^2}{2g}, \quad (3.1.12.6)$$

где $V_{\text{кол}} = 1,8 \text{ м/с}$;
 $\sum \zeta$ – сумма местных сопротивлений, м.

$$h_{m.c.} = 2,664 \cdot \frac{1,8^2}{2 \cdot 9,81} = 0,44 \text{ м},$$

Потери напора в местных сопротивлениях определяется по формуле

$$\sum \zeta = \zeta_1 + \zeta_2 + \zeta_3 + \zeta_4$$

где $\zeta_1 = 0,984$ для колена;

$\zeta_2 = 0,26$ для задвижки;
 $\zeta_3 = 0,5$; $\zeta_4 = 0,92$ для тройника.

Сумма потерь напора

$$\sum h = h_{p.c.} + h_{\phi} + h_{n.c.} + h_{n.m.} + h_{o.c.} + h_{m.c.}, \quad (3.1.12.7)$$

$$\sum h = 0,315 + 0,57 + 0,14 + 0,08 + 0,37 + 0,44 = 1,915 \text{ м}$$

Геометрическая высота подъема воды от дна резервуара чистой воды до желоба определяется по формуле

$$h_{\Gamma} = \Delta h_{\text{ж}} + H_{\phi} + 4,5, \quad (3.1.12.8)$$

где H_{ϕ} – высота фильтрующего слоя, м.

$$h_{\Gamma} = 0,58 + 0,7 + 4,5 = 5,78 \text{ м}$$

Необходимый напор насоса определяется по формуле

$$H = h_{\Gamma} + \sum h + h_{\text{з.н.}}, \quad (3.1.12.9)$$

где h_{Γ} – геометрическая высота подъема воды от дна резервуара чистой воды до желоба, м;

$\sum h$ – сумма местных потерь, м;

$$H = 5,78 + 1,915 + 1,5 = 9,2 \text{ м}$$

Для промывки фильтров принимаем насос NK50-125/111, подача которого составляет $65 \text{ м}^3/\text{ч}$, напор – 15м, Ндв – 3 кВт, масса агрегата 56кг.

3.1.13 Резервуар чистой воды

В резервуаре должен находиться объем воды, необходимый для двух промывок в сутки определяется по формуле

$$W_{\text{РЧВ}} = W_{\text{АК}} + W_{\text{СОБ}}, \quad (3.1.13.1)$$

где $W_{\text{АК}}$ – аккумулирующий запас воды, м^3 ;

$W_{\text{СОБ}}$ – объем воды на собственные нужды станции, м^3 .

Аккумулирующий объем за 3 часа запаса:

$$W_{AK} = 3 \cdot q_{\text{ч}}, \quad (3.1.13.5)$$

$$W_{AK} = 3 \cdot 6,19 = 18,57 \text{ м}^3$$

Объем воды необходимый на собственные нужды станции:

$$W_{COB} = \frac{Q_{\text{ч}} \cdot P}{100} \cdot t_{oc} + \frac{Q_{\text{ч}}^{np} \cdot P_{\phi}}{1000} \cdot t_{\phi}, \quad (3.1.13.6)$$

где $Q_{\text{ч}}$ – часовой расход воды, $\text{м}^3/\text{ч}$;

$Q_{\text{ч}}^{np}$ – часовой расход воды на промывку фильтров, $\text{м}^3/\text{ч}$;

P – процент воды, расходуемый на удаление осадка;

P_{ϕ} – процент воды, расходуемый на промывку фильтров.

$$W_{COB} = \frac{6,19 \cdot 0,9}{100} \cdot 0,5 + \frac{60,48 \cdot 15,03}{1000} \cdot 0,3 = 2,76 \text{ м}^3$$

$$W_{PЧВ} = 18,57 + 2,76 = 21,33 \text{ м}^3$$

Площадь РЧВ определяется по формуле

$$F_{PЧВ} = \frac{W_{PЧВ}}{H}, \quad (3.1.13.7)$$

где $W_{PЧВ}$ – объем резервуара чистой воды, м^3 ;

H – глубина резервуара, м.

$$F_{PЧВ} = \frac{21,33}{3} = 7,11 \text{ м}^2$$

Принимаем к проекту 1 РЧВ с размерами $3 \times 3 \times 2,5$ м.

3.1.14 Расчет шламоуплотнителя

После обработки стоков, осадок из отстойника и других сооружений подается в шламонакопитель, где он может находиться до 15 суток.

Отношение диаметра шламонакопителя к высоте конической части принимаем $D/H=1,5$;

$Q_{\text{ч}} = 0,78$ – часовой расход шламонакопителя, $\text{м}^3/\text{ч}$

$\beta = 1,5$ – коэффициент для учета объемного использования отстойника

$N = 1$ – количество шламонакопителей

$V_p = 0,6$ – расчетная скорость движения осадка, м/с

Количество осадка, поступающего в шламонакопитель:

Объем шламоуплотнителя определяется по формуле

$$W = G \cdot n \cdot t, \quad (3.1.14.1)$$

где $G = 0,78 \text{ м}^3/\text{ч}$;
 n – расчетное количество суток, 5 сут;
 t – время работы сооружений.

$$W = 0,78 \cdot 5 \cdot 8 = 31,2 \text{ м}^3$$

Площадь шламоуплотнителя определяется по формуле

$$F = \frac{W}{H}, \quad (3.1.14.2)$$

где W – объем шламоуплотнителя, м^3 .

$$F = \frac{31,2}{4,5} = 7 \text{ м}^2$$

Диаметр шламоуплотнителя определяется по формуле

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{3,14}}, \quad (3.1.14.3)$$

где F – площадь шламоуплотнителя, м^2 .

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 7}{3,14}} = 2,98 \text{ м.}$$

Объем уплотненного осадка:

$$W_{\text{упл}} = \frac{Q_{\text{ос}} \cdot 94}{98}, \text{ м}^3 \quad (3.1.14.4)$$

где 94% - влажность уплотненного осадка;
 98% - влажность осадка, поступающего из отстойника в шламонакопитель.

$$W_{\text{упл}} = \frac{0,49 \cdot 94}{98} = 0,47 \text{ м}^3$$

Принимаем диаметр шламоуплотнителя 3 м.

Для подачи осадка на фильтр-пресс принимаем насос НК-32-125.1/100

Подача до $16 \text{ м}^3/\text{ч}$, напор – 10 м, Ндв – 1 кВт, масса насоса – 39 кг

3.1.15 Подбор фильтр-пресса

Основные преимущества фильтр-пресса:

- обезвоживание в непрерывном режиме;
- низкая энергоемкость процесса обезвоживания;
- возможность оперативного изменения технологических параметров;
- простота в эксплуатации и ремонтпригодность;
- коррозионно-устойчивые и износостойкие материалы;
- низкий уровень шума при работе оборудования.

Принимаем фильтр-пресс Бифар ЛФ-750П с гидравлической производительностью 2-8 м³/ч, скоростью движения лент 0,5-6 м/мин, мощностью привода 0,75 кВт, габаритными размерами 2600×1200×1880 мм и массой 2000 кг. Влажность осадка после обработки при этом 70-83 %.

3.1.16 Тонкослойный отстойник для промывных вод ФЗ

Загрязненная вода, поступающая после промывки фильтров, отправляется на доочистку в горизонтальный отстойник со встроенными тонкослойными модулями для повышения эффективности очистки.

Расчет ведется для двух промывок фильтров в сутки.

Суммарный расход поступающий от двух промывок фильтров: $q = 34,38$ м³.

Проверим условие обеспечения ламинарности движения потока в отстойнике:

$$Re = \frac{V \cdot h_{ii}}{\nu} = \frac{0,2 \cdot 5}{0,0131} = 76 < 500 - \text{условие выполняется} \quad (3.1.16.1)$$

где $\nu = 0,0131$ - вязкость воды;

$h_{ii} = 0,05 \text{ м}$ - высота яруса модулей;

$V = 0,2 \text{ см/с}$ - скорость потока в ярусе.

Длина пластины модуля:

$$L_{nl} = k_3 \frac{V \cdot h_{ii}}{U_o} = 1,3 \frac{0,2 \cdot 0,05}{0,01} = 1,2 \text{ м}, \quad (3.1.16.2)$$

где $k_3 = 1,3$ - коэффициент запаса;

h_{ii} - высота яруса;

V - скорость потока в ярусе.

Производительность отстойника:

$$q_{set} = 3,6 \cdot k_{set} \cdot H \cdot B \cdot V_v, \quad (3.1.16.3)$$

Тогда площадь сечения отстойника:

$$H \cdot B = \frac{q}{3,6k_{set} \cdot V_{\omega}} = \frac{34,38}{3,6 \cdot 0,7 \cdot 2} = 6,8 \text{ м}^2$$

Назначаем отстойник квадратного сечения: $2,7 \times 2,7 \text{ м}$

Расстояние между пластинами отстойника:

$$b_n = h_{ii} \cdot \cos \alpha = 0,05 \cdot 0,5 = 0,025 \text{ м} \quad (3.1.16.4)$$

где $\alpha = 60^\circ$ – угол наклона отстойника к горизонту.

Количество пластин:

$$n_{ii} = \frac{H}{b_n} = \frac{2,7}{0,025} = 108 \text{ шт}$$

Расчёт тонкослойного отстойника показал, что его необходимый объём значительно меньше, чем у вертикального отстойника, поэтому в схеме принимается тонкослойный отстойник. Назначаем один рабочий отстойник.

3.1.17 Подбор установки ультрафильтрации

Ультрафильтрация это процесс мембранного разделения растворов высокомолекулярных и низкомолекулярных соединений, а также концентрирования и фракционирования высокомолекулярных соединений. Процесс протекает за счет разности давлений до и после мембраны. Установки ультрафильтрации применяются для очистки сточных вод и оборотного водоснабжения предприятий

В установках ультрафильтрации используются полуволоконные мембраны из полиэфирсульфона, а также мембраны на основе других полимерных материалов.

Установки ультрафильтрации нашли широкое применение в системах очистки сточных вод гальванического производства. Использование мембранных технологий позволяет осуществлять очистку высокомолекулярных соединений от низкомолекулярных, в частности удаление электролитов, карбамида, лактозы и других веществ из растворов.

Наиболее часто применяемым принципом работы оборудования, используемого для ультрафильтрации, является так называемый принцип «dead-end-flow» (имеет сходство с процессом фильтрации через песочный фильтр). Следовательно, вся подающаяся вода проходит через мембрану, после чего становится фильтратом ультрафильтрации.

Загрязнения, оседающие на поверхности мембраны удаляются с помощью обратной промывки, происходящей в определенные промежутки времени.

Чаще всего применяют 30 секундную промывку с повторением через каждые 30-40 минут.

Промывку осуществляют подачей воды противотоком при помощи фильтрата, находящегося в промежуточном баке. Отфильтрованная вода подается на установку ультрафильтрации с помощью насоса.

Кроме промывки водой также следует проводить периодическую химическую чистку мембран и их дезинфекцию. В качестве дезинфектора зачастую используют NaOCl, концентрацией 50 – 200 мг/дм³.

Комплект поставки стандартных установок ультрафильтрации воды включает в себя:

- стальная рама из нержавеющей стали;
- трубная обвязка из ПВХ (до 10 бар);
- мембранные клапана с электрическим или пневматическим приводом;
- поворотнo-дисковые затворы с электрическим или пневматическим приводом;
- шкаф управления установкой, включая контроллер;
- электромагнитные расходомеры на линии исходной воды, обработанной воды, подачи промывочной воды;
- датчики давления и температуры;
- автоматическая гидравлическая промывка: промывочный насос, арматура и трубопроводы;
- автоматическая промывка реагентами: насосы-дозаторы, комплект обвязочных материалов.

К преимуществам ультрафильтрации относят:

- высокую эффективность очистки воды, несравнимая, с технологией фильтрации;
- низкие капитальные затраты при строительстве новых и реконструкции старых сооружений для очистки воды;
- возможность полной автоматизации процесса и контроля эффективности технологического процесса обработки воды методом ультрафильтрацией;
- компактность, незначительный расход химических реагентов и простота обслуживания.

Принимаем типовую установку фирмы Аквафлоу UF 5-10, производительностью 10 м³/час, тип - dizzer 5000SB/2, габаритные размеры 500 x 700 x 2300мм, масса агрегата – 240 кг.

3.1.18 Резервуар сбора глубокоочищенной воды

Резервуар рассчитывается на 1 час накопления воды. Объем резервуара рассчитывается по формуле

$$W_p = 1 \cdot q_u, \quad (3.1.18.1)$$

$$W_p = 1 \cdot 6,19 = 6,19 \text{ м}^3.$$

Принимаем размеры резервуара: 2 х 1,8 х 1,8 м.

3.2. Технологическая схема №2. Электрокоагуляционный метод обезвреживания хромсодержащих стоков

Усреднитель → Фильтр-грязевик → Электрокоагулятор → Ферритизатор → Вертикальный отстойник с камерой хлопьеобразования → Скорый фильтр с зернистой загрузкой → РЧВ → Установка ультрафильтрации → Резервуар глубоководной воды.

В таблице 3.2.1 приведены расчетные расходы сточной жидкости хромсодержащих сточных вод.

Таблица 3.2.1 – Расчетные расходы

Вид сточных вод	$Q_{\text{сут}}, \text{м}^3/\text{сут}$	$Q_{\text{час}}, \text{м}^3/\text{ч}$	$Q_{\text{сек}}, \text{м}^3/\text{с}$
Хромстоки	50	6,25	0,00174

3.2.1. Расчет электролизёра с железными анодами

Электрокоагуляторы с железными анодами относятся к нестандартному оборудованию. Предпочтительно использование напорных с восходящим движением воды электрокоагуляторов с пластинчатыми электродами.

В процессе электролиза выделяется водород, который необходимо постоянно удалять из аппарата. Для обеспечения безопасности, работа электрокоагулятора должна быть сброкирована с работой вентилятора: в случае остановки вентилятора должна быть прекращена подача электроэнергии на электрокоагулятор. Время обработки сточной воды при соответствующей силе тока выбирают экспериментально по степени ее осветления. При изменении состава воды время ее обработки также изменяется.

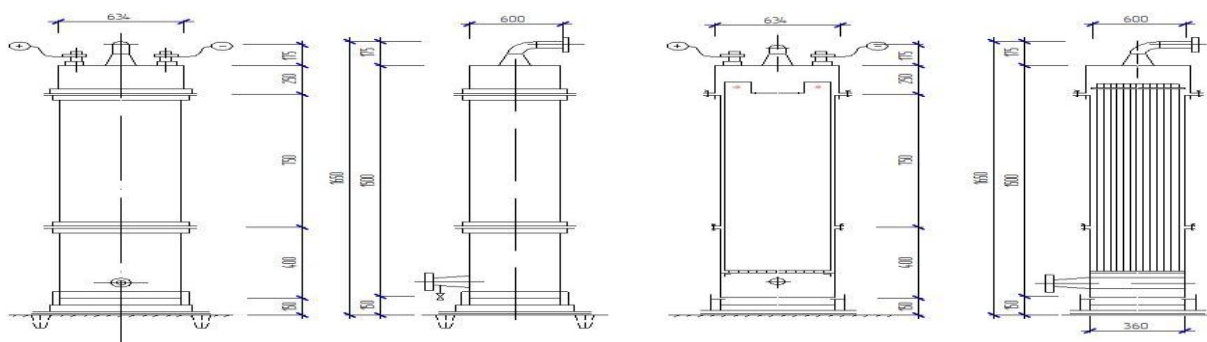


Рисунок 3.2.1.1 – Конструкция электролизера

Расчет электролизера с железными анодами представлен в приложении Б.

3.3 Технологическая схема №3. Реагентный метод обезвреживания хромсодержащих сточных вод

Усреднитель → Вертикальный вихревой смеситель → Вертикальный отстойник с водоворотной камерой хлопьеобразования → Скорый фильтр с зернистой загрузкой → РЧВ → Установка ультрафильтрации → Резервуар глубокоочищенной воды.

В таблице 3.1.3 приведены расчетные расходы сточной жидкости хромсодержащих сточных вод.

Таблица 3.3.1 – Расчетные расходы

Вид сточных вод	$Q_{\text{сут}}, \text{ м}^3/\text{сут}$	$Q_{\text{час}}, \text{ м}^3/\text{ч}$	$Q_{\text{сек}}, \text{ м}^3/\text{с}$
Хромстоки	50	6,25	0,00174

3.3.1 Расчет дозы реагента-восстановителя

После усреднителя сточная вода подается в смеситель. В смеситель подается коагулянт FeSO_4 . Окислительно-восстановительный процесс происходит в камере реакции.

Расчеты дозы реагента-восстановителя, расходных и растворного баков приведены в приложении В.

3.3.2 Воздуходувки и воздухопроводы

Расчеты по подбору воздуходувки и воздухопроводов приведены в приложении В.

По полученным результатам подбираем воздуходувку ВК-0,75 (кольцевая, простого действия со следующими параметрами: производительность 0,75 $\text{м}^3/\text{мин}$, мощность электродвигателя 3 кВт). Предусматриваем, кроме того, резервную воздуходувку ВК-0,75.

3.3.3 Приготовление раствора каустической соды

Емкость бака для приготовления раствора NaOH , определяется по формуле

$$W_{\text{н}} = \frac{q_{\text{ч}} \cdot n \cdot D_{\text{щ}}}{10000 \cdot B_{\text{н}} \cdot \gamma_{\text{н}}}, \quad (3.3.3.1)$$

где $q_{\text{ч}}$ – часовой расход сточной воды, $\text{м}^3/\text{ч}$;

n – время, за которое приготавливают раствор NaOH , $n=6-12$ ч;

$D_{\text{щ}}$ – доза NaOH , $D_{\text{щ}}=64,6$ мг/л;

B_u – концентрация раствора NaOH, $B_u=5\%$;
 γ_u – удельный вес раствора NaOH, $\gamma_u=1 \text{ т/м}^3$.

$$W_{II} = \frac{6,25 \cdot 8 \cdot 64,6}{10000 \cdot 5 \cdot 1} = 0,065 \text{ м}^3,$$

Диаметр бака, м:

$$d = \sqrt[3]{\frac{W_{II} \cdot 4}{\pi}}, \quad (3.3.3.2)$$

где W_{II} – емкость бака для приготовления раствора щелочи, м^3 ;

$$d = \sqrt[3]{\frac{0,065 \cdot 4}{3,14}} = 0,44 \text{ м}$$

Мощность двигателя мешалок с горизонтальными лопастями

$$N = 0,004 \cdot \rho \cdot h_L \cdot n^3 \cdot d_0^4 \cdot z \cdot \eta \cdot \psi, \quad (3.3.3.3)$$

где ρ – объемный вес раствора, $\rho=1000 \text{ кг/м}^3$;

h_L – высота лопасти, $h_L=0,25 \text{ м}$;

n – число оборотов мешалки, $n=0,67 \text{ об/сек}$;

d_0 – диаметр окружности, описываемой концом лопасти, $d_0=1 \text{ м}$;

z – число парных лопастей на валу мешалки, $z=2$;

η – КПД, $\eta=0,6$;

ψ – коэффициент учета увеличения струи жидкости, перемещаемой лопастью мешалки, $\psi=1,344$.

$$N = 0,004 \cdot 1000 \cdot 0,25 \cdot 0,67^3 \cdot 1^4 \cdot 2 \cdot 0,6 \cdot 1,344 = 0,1 \text{ кВт},$$

3.3.4 Определение площади складов реагентов

Для хранения FeSO_4 и NaOH необходимо устройство склада, рассчитанного на 15-30 суточную наибольшую потребность в реагентах.

Площадь склада коагулянта:

$$F_{\text{скл}}^{\kappa} = \frac{Q_{\text{сут}} \cdot D_p \cdot T \cdot \alpha}{P_c^{\kappa} \cdot 10000 \cdot h_{\kappa} \cdot G_0^{\kappa}}, \quad (3.3.4.1)$$

где $Q_{\text{сут}}$ – суточный расход сточной воды, $\text{м}^3/\text{сут}$;

D_p - доза коагулянта, $D_p = 618,75$ мг/л;
 T - продолжительность хранения реагента на складе, $T = 60$ сут;
 α - коэффициент учета дополнительной площадки проходов, $\alpha = 1,15$;
 P_c^k - содержание безводного продукта в реагенте, $P_c^k = 33,5\%$;
 h_k - высота слоя реагента, $h_k = 2$ м;
 G_0^k - объемный вес реагента при загрузке склада навалом, $G_0^k = 1,1 \text{ т} / \text{м}^3$.

$$F_{скл}^k = \frac{50 \cdot 618,75 \cdot 60 \cdot 1,15}{33,5 \cdot 10000 \cdot 2 \cdot 1,1} = 2,9 \text{ м}^2$$

Площадь склада щелочи:

$$F_{скл}^u = \frac{Q_{сут} \cdot D_u \cdot T \cdot \alpha}{10000 \cdot P_c^u \cdot h_c^u \cdot G_o^u}, \quad (3.3.4.2)$$

где $Q_{сут}$ – суточный расход сточной воды, м³/сут;
 $P_c^u = 100\%$
 $h_c^u = 1,5$ м
 $G_o^u = 1$ т/м³

$$F_{скл}^u = \frac{50 \cdot 64,6 \cdot 60 \cdot 1,15}{10000 \cdot 100 \cdot 1,5 \cdot 1} = 0,15 \text{ м}^2$$

3.3.5 Дозирование растворов реагентов

Насосы-дозаторы – это агрегаты, предназначены для точного дозирования заданного объема необходимого продукта. В данной выпускной квалификационной работе требуется применение насосов-дозаторов для дозирования:

- щелочи;
- раствора коагулянта;
- дозирование раствора коагулянта.

Стоит отметить, что насосы-дозаторы должны быть выполнены в химически-стойком исполнении.

Насосы типа НД предназначены для объемного напорного дозирования натуральных и агрессивных жидкостей. Принимаем насосы-дозаторы марки НД 0,1-63 К14.

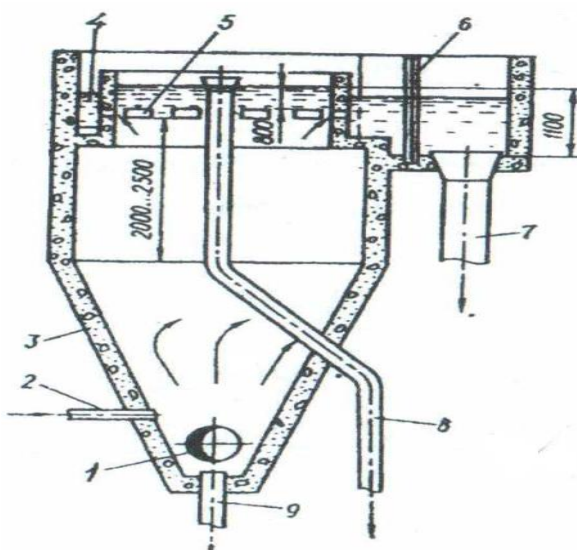
3.3.6. Вертикальный вихревой смеситель

Смешение осуществляется в течении 1-2 мин. Смесители могут быть квадратные или круглые в плане, с пирамидальной или конической нижней

частью. Обрабатываемая вода подается по трубе 1 в нижнюю часть со скоростью 1-1,2 м/с. Вода проходит через смеситель и в верхней части перемешивается и поступает в сборный лоток. Из сборного лотка вода поступает в боковой карман.

Боковой карман принимается конструктивно с тем, чтобы в нижней его части разместилась труба для отвода воды. В вертикальных смесителях обеспечивается относительно полное растворение частиц извести, так как они некоторое время движутся во взвешенном состоянии в турбулентном восходящем потоке воды.

На рисунке 3.3.6.1 изображена схема вертикального вихревого смесителя.



1-подвод воды, 2-подвод реагентов, 3-бетонный корпус, 4-кольцевой желоб, 5-затопленные отверстия, 6-сетка, 7-отвод воды, 8-перелив, 9-трубопровод для опорожнения.

Рисунок 3.3.6.1 – Вертикальный вихревой смеситель

Расчет вертикального вихревого смесителя представлен в приложении В.

3.3.7 Резервуар чистой воды

Объем резервуара рассчитывается по формуле

$$W_{РЧВ} = W_{АК} + W_{СОБ}, \quad (3.3.7.1)$$

где $W_{АК}$ – аккумулирующий запас воды, $м^3$;

$W_{СОБ}$ – объем воды на собственные нужды станции, $м^3$.

Аккумулирующий объем за 3 часа неприкосновенного запаса:

$$W_{АК} = 3 \cdot q_{ч}, \quad (3.3.7.5)$$

$$W_{AK} = 3 \cdot 6,19 = 18,57 \text{ м}^3$$

Объем воды необходимый на собственные нужды станции:

$$W_{COB} = \frac{Q_{\text{ч}} \cdot P}{100} \cdot t_{oc} + \frac{Q_{\text{ч}}^{np} \cdot P_{\phi}}{1000} \cdot t_{\phi}, \quad (3.3.7.6)$$

где $Q_{\text{ч}}$ – часовой расход воды, $\text{м}^3/\text{ч}$;

$Q_{\text{ч}}^{np}$ – часовой расход воды на промывку фильтров, $\text{м}^3/\text{ч}$;

P – процент воды, расходуемый на удаление осадка;

P_{ϕ} – процент воды, расходуемый на промывку фильтров.

$$W_{COB} = \frac{6,21 \cdot 0,7}{100} \cdot 0,5 + \frac{60,48 \cdot 15,03}{1000} \cdot 0,3 = 2,75 \text{ м}^3$$

$$W_{PЧВ} = 18,57 + 2,75 = 21,32 \text{ м}^3$$

Площадь РЧВ определяется по формуле

$$F_{PЧВ} = \frac{W_{PЧВ}}{H} = \frac{21,32}{3} = 7,11 \text{ м}^2, \quad (3.3.7.7)$$

где $W_{PЧВ}$ – объем резервуара чистой воды, м^3 ;

H – глубина резервуара, м.

Принимаем 1 РЧВ с размерами $3 \times 3 \times 2,5$ м.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения выпускной квалификационной работы по разработке технологии физико-химической очистки хромосодержащих сточных вод была изучена и проанализирована научно-техническая и патентная информация по данной теме, получена математическая модель для определения оптимальных режимов обработки: доза реагента-восстановителя FeSO_4 , pH.

Был выполнен технологический расчет очистных сооружений по следующим методам очистки хромосодержащих сточных вод:

- с применением гальванокоагуляционной очистки;
- с использованием электрокоагуляции;
- с применением реагентной очистки.

Применение данных технологических схем очистки хромосодержащих сточных вод позволяет предотвратить годовой ущерб, наносимый сбросом в размере 16602,56 тыс. руб.

В работе также представлен раздел по автоматизации производственного процесса очистки хромосодержащих сточных вод гальванического производства.

Для выявления экономически выгодного варианта очистки сточных вод гальванического производства был выполнен технико-экономический расчет, который показал, что наиболее экономичным и выгодным по технико-экономическим показателям является вариант, использования гальванокоагуляционной обработки сточных вод.

В разделе «Безопасность жизнедеятельности» отражены меры предосторожности, обеспечивающие надежную и безопасную для здоровья персонала работу станции очистки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Исследование процесса электрофлотационного извлечения дисперсной фазы металлов в аппарате проточного типа: сборник научных трудов. Том XXI. № 9 / А. В. Перфильева, В.А Колесников, В.И Ильин, Е.А. Кузнецова. – Москва: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2007. – 49 с.
- 2 Интенсификация процессов очистки жидких техногенных отходов промышленных производств с использованием электрохимических методов: Молодые ученые и инновационные химические технологии: Тезисы докладов Всероссийской конференции / А. В. Перфильева, В.А Колесников, В.И Ильин, Е.А. Кузнецова. – Москва: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2007. – 39с.
- 3 Пат. 2458010 Российская Федерация, С 02 F 1/28, С 02 F 101/22. Способ очистки воды от соединений хрома / М. В. Зеркаленкова; заявитель и патентообладатель ГОУВПО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского». – № 2010147043/05; заявл.18.11.10; опубл. 10.08.12, Бюл. 23 (I ч). – 2с.
- 4 Очистка производственных сточных вод и утилизация осадков машиностроительной промышленности: материалы семинара. – Москва: МДНТП, 1988. – 8 с.
- 5 Малоотходные и ресурсосберегающие процессы в гальванотехнике: материалы семинара. – Москва, МДНТП. 1988. 6 с.
- 6 Ресурсосберегающие процессы в гальванотехнике: материалы семинара. – Москва, МДНТП. 1988. 13 с.
- 7 Ажогин Ф.Ф. Гальванотехника: справочное издание/ Ф.Ф Ажогин – Москва: Металлургия, 1987. – 736 с.
- 8 Ильин В.И. Интенсификация электрофлотационных процессов извлечения загрязняющих веществ из техногенных жидких отходов/ В.И Ильин – Москва: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2008. – 128 с.
- 9 Смирнов А.Д. Сорбционная очистка воды/ А. Д. Смирнов – Москва: Химия, 1981. –168 с.
- 10 Зубарева Г.И. Способы очистки сточных вод от соединений хрома(VI) / Г.И. Зубарева, М.Н. Филиппева, М.И. Дегтев // Экология и промышленность России. – 2005. – № 2.
- 11 Филиппева М.Н. Глубокая очистка хромсодержащих сточных вод гальванического производства / М.Н. Филиппев, Д.А. Плотников // Экология и промышленность России. – 2005. – № 5.
- 12 Аксенов В.И. Водное хозяйство промышленных предприятий/ В.И. Аксенов – Москва: Теплотехник, 2005. – 479 с.
- 13 Экология очистки сточных вод физико-химическими методами/ Н.С. Серпокрылов, Е.В. Вильсон, С.В. Гетманцев, А.А. Марочкин. Москва: Ассоциация строительных вузов, 2009. – 261 с.
- 14 Найдено В. В. Очистка и утилизация промстоков гальванического производства/ В. В. Найдено – Н. Новгород: Деком, 1999. – 368 с.

- 15 Скрылев Л. Д. Флотационная очистка сточных вод гальванических производств от хрома/ Л.Д Скрылева, Т. Л Скрылева., А.Н. Пурич. – Москва: Химия и технология воды, 1996. – 404 с.
- 16 Мейнк Ф. Очистка промышленных сточных вод / Ф. Мейнк – Ленинград : Гостехиздат, 1963. – 208 с.
- 17 Димчев Д.С. Оптимизация реагентного способа очистки хромсодержащих сточных вод / Д.С. Димчев, С. Мерлинский, Е.И. Боторова// Гидротехника и мелиорация, – 1980. – № 6.
- 18 Гетманцев С. В. Очистка промышленных сточных вод коагулянтами и флокулянтами/ С. В. Гетманцев, И. А. Нечаев, Л. В. Гандурина. – Москва: Ассоциации строительных вузов, 2008. –272 с.
- 19 Гомеля Н.Д. Оценка эффективности алюминиевых коагулянтов при очистке сточных вод/ Н.Д. Гомеля, Т.Н. Красильникова // Экотехнологии и ресурсосбережение, – 2007. – № 1. – С. 53–56.
- 20 Лукашева Г.Н. Анализ сравнительных испытаний коагулянтов при очистке воды/ Г.Н. Лукашева, Д.М. Буткевич// Технология нефти и газа, – 2008. – № 4. – С. 16–20.
- 21 Халтурина Т.И. Водоотводящие системы промышленных предприятий: электронное учебное пособие/ Т.И. Халтурина – Красноярск 2008. – 225 с.
- 22 Дмитренко Г.Н. Использование мембранного биореактора для восстановления хрома (VI) / Г.Н. Дмитренко, В.В Коновалова, П.И. Гвоздяк// Химия и технологии воды, – 2001. – №5.
- 23 Костюкевич Г.В. Технология очистки промывных стоков гальванического производства/ Г.В. Костюкевич, И.И. Бразовский, Т.И Евсеенко // Экология и промышленность России. – 2011. – №1. – С. 16–17.
- 24 Бабенков Е.Д. Воду очищают коагулянты/ Е. Д. Бабенков – Москва: Знание, 1983. – 64 с.
- 25 Вейцер Ю. И. Высокомолекулярные флокулянты в процессах очистки воды/ Ю. И. Вейцер, Д. М, Минц – Москва: Стройиздат, 1975. – 191 с.
- 26 Очистка хромсодержащих стоков гальванических производств за рубежом // ИНФОРМЭЛЕКТРО – Москва, – 1983. – № 3.
- 27 Никифорова Л.О. Влияние тяжелых металлов на процесс биохимического окисления органических веществ/Л. О. Никифорова, Л.М. Белопольский – Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007.–78 с.
- 28 Проблемы развития безотходных производств/ Б.Н. Ласкорин, Б.В. Громов, А.П. Цыганков, В.Н. Сенин. – Москва: Стройиздат, 2005. – 160 с.
- 29 Нагаев В.В. Исследование процесса очистки хромсодержащих сточных вод биосорбционным способом / В.В. Нагаева, М.В. Шулаев, А.С. Сироткин // Химическая промышленность. – 1998. – № 7.
- 30 Буракаева А.Д. Роль микроорганизмов в очистке сточных вод от тяжёлых металлов: методическое пособие/ А. Д, Буракаева, А. М. Русанов, В.П. Лантух – Оренбург: Знание, 1999.–53 с.
- 31 Очистка производственных сточных вод/ С. В. Яковлев, А. Я. Карелин, Ю. М. Ласков, Ю.М. Воронов. – Москва: Стройиздат, 1979. – 320 с.

32 Щербакова А. В. Разработка электрофлотационной технологии извлечения соединений трёх- и шестивалентного хрома из промывных и сточных вод гальванического производства/ А. В. Щербакова – Москва: ЮНИТИ-ДАНА, 1996. – 165 с.

33 Пат. 2431231 Российская Федерация, МПК H02M 9/06. Устройство для получения асимметричного тока / Т. И. Халтурина, Б.В. Гаврилова Т.А. Курилина, О.В. Чурбакова; заявитель и патентообладатель Сибирский федеральный университет. – 2010131777/07; заявл.28.07.10; опубл. 10.10.11

34 Пат. 2085505 Российская Федерация, С 02 F 1/463. Способ очистки воды/ Е. М. Силкин, С. А. Балабина, А. И. Пахалин; заявитель и патентообладатель Акционерное общество открытого типа «ЭЛСИ». – № 94007339/25; заявл. 01.03.94; опубл. 27.07.97, Бюл. 23 (I ч). – 2с.

35 Яковлев С.В. Технология электрохимической очистки воды/ С. В. Яковлева, И. Г. Краснобородько, В. М. Рогов – Ленинград: Стройиздат, 1987. – 312 с.

36 Пат. 456793 СССР, МПК С 02 F 1/463. Способ очистки сточных вод/ Р. И. Остроушко; заявитель и патентообладатель Остроушко Р. И.. – № 1272226; заявл. 13.09.68; опубл. 15.01.75, Бюл. 2 (I ч). – 2с.

37 Прокопенко В.А.. Роль гальванического контакта железа с углеродом в образовании дисперсных оксидов-гидроксидов железа в воде и растворах электролитов/ В. А. Прокопенко, Е.Н. Лавриненко, Н.В. Перцов // Журнал коллоидной химии. – 2001. – № 4. – С. 509.

38 Пат. 2079439 Российская Федерация, С 02 F 1/463. Способ гальванокоагуляционной очистки промышленной сточной воды/ А. Н. Золотников, С. Л. Громов, И. Б. Короткевич, В. Е. Бомштейн, Р. М.

39 Халтурина Т. И. Применение гальванокоагуляционной технологии для очистки хромсодержащих сточных вод/ Т. И. Халтурина, А. Г. Бобрик, О. В. Чурбакова // ВЕСТНИК ИрГТУ. – 2015. –№2. – С.145.

Малышев; заявитель и патентообладатель Товарищество с ограниченной ответственностью «Объединение ИРЕА-Пензмаш». – № 5051369/25; заявл. 08.07.92; опубл. 20.05.97, Бюл. 2 (I ч). – 2с.

40 Зозуля В.В. О механизме процессов в гальванопаре железо–углерод(кокс) в аэрированном растворе, содержащем ионы тяжелых металлов/ В. В. Зозуля, В. А. Прокопенко, Е. Н. Лавриненко, Н. В. Перцов// Украинский химический журнал. – 2002. – № 7. – С 50.

41 Лавриненко Е.Н. Влияние состава исходного раствора на параметры работы гальванокоагулятора/ Е. Н. Лавриненко, В. А. Прокопенко// Обработка дисперсных материалов и сред. – 1999. – № 9. – С 184.

42 Зайцев Е.Д. Интенсификация очистки сточных вод промышленных предприятий методом гальванокоагуляции/ Е. Д. Зайцев, А. П. Абраменко – Семипалатинск: ЦНТИ, 1994. – 26 с.

43 Зайцев Е.Д. Совершенствование метода гальванокоагуляции вредных примесей в сточных водах промышленных предприятий/ Е. Д. Зайцев// Известия вузов. Цветная металлургия. – 2000. – № 2. – С. 69.

- 44 Чернов О.П. Гальваноочистка сточных вод металлургических производств/ О. П. Чернов, Г. М. Курдюмов – Москва: МИСиС, 1997. – 295 с.
- 45 Халтурина Т.И. Гальванокоагуляционное обезвреживание сточных вод, содержащих ионы тяжелых металлов/ Т. И. Халтурина, Т. А. Курилина// Известия вузов. Строительство. – 2009. – № 9. – С. 77.
- 46 Ротинян А.Л. Теоретическая электрохимия/ А. Л. Ротинян, К. Л. Тихонов, И.А. Шошина – Ленинград: Химия, 1981. – 421 с.
- 47 Скорчеллетти В.В. Теоретическая электрохимия/ В.В. Скорчеллетти – Ленинград: Химия, 1974. – 568 с.
- 48 Матов Б.М. Электрофлотационная очистка сточных вод/ Б. М. Матов – Кишинев: Картя Молдовеняскэ, 1982. – 170 с.
- 49 Мамаков А.А. Современное состояние и перспективы применения электролитической флотации веществ/ А. А. Мамаков – Кишинев: Штиинца, 1975. – 134 с.
- 50 Манцев А.И. Очистка сточных вод флотацией/ А. И. Манцев – Киев: Будивельник, 1976. – 132 с.
- 51 Пат. 2491230 Российская Федерация, С 02 F 1/465. Электрофлотатор/В. В. Старших, Е. А. Максимов; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Челябинская государственная агроинженерная академия». – № 2012105405/05; заявл. 15.02.12; опубл. 27.08.13, Бюл. 24 (I ч). – 7с.
- 52 Дытнерский, Ю.И. Мембранные процессы разделения жидких смесей: учебное пособие/ Ю.И. Дытнерский – Москва: Химия, 1995. – 232 с.
- 53 Белевцев А.Н. Комплексные схемы очистки сточных вод гальванических производств / А.Н. Белевцев, П.Ф. Кандзас, Л.В. Милованов// Водоснабжение и санитарная техника. – 1984. – № 10.
- 54 Дмитренко Г.Н. Использование мембранного биореактора для восстановления хрома (VI) / Г.Н. Дмитренко, В.В. Коновалова, П.И. Гвоздяк// Химия и технологии воды. – 2001. – №5.
- 55 Воропанова Л.А. Использование древесных опилок для очистки сточных вод от хрома (У1) / Л.А. Воропанова, С.Г. Рубановская// Химическая промышленность. – 1998. – № 1.
- 56 Паус К.Ф. Очистка сточных вод от соединений хрома (VI) методом адсорбционного восстановления / К.Ф. Паус, Ю.В. Медведева, Л.А. Порожнюк // Экология и промышленность России – 2000. – № 6.
- 57 Очистка сточных вод от ионов хрома (III) на фосфате железа (III)/ А. М. Сарсенов, А. К. Казбекова, Н. А. Усенова, У. А. Есенгулов // Геология, география и глобальная энергия. – 2010. – № 4. – С. 97.
- 58 Воропанова Л.А. Использование семян бобовых культур для сорбции хрома (У1), молибдена (У1) и вольфрама (У1) / Л.А. Воропанова, Е.Ю. Гетоева, С.Г. Рубановская // Химическая промышленность. – 1998. – № 9.

- 59 Зеркаленкова М. В. Новые подходы и решения проблемы очистки сточных вод от хрома (VI)/ М. В. Зеркаленкова // Вестник Брянского государственного университета. – 2010. – № 4. – С. 140.
- 60 Серпокровлов Н.С. Экология очистки сточных вод физико-химическими методами/ Н. С. Серпокровлов, Е. В. Вильсон, С. В. Гетманцев, А. А. Марочкин – Москва: Ассоциация строительных вузов, 2009. – 261 с.
- 61 Локай О.В. Извлечение ионов тяжелых металлов из аммиачных водных растворов сорбцией гидролизным лигнином/ О. В. Локай, А. Ф. Никифоров, В. И. Аксенов // Охрана природных вод Урала. – 1984. – № 15. –С. 21.
- 62 Зосин А.П. Очистка промышленных стоков от катионов никеля, кобальта, меди, сорбентом на основе магнезиально–железистых шлаков цветной металлургии/ А. П. Зосин, Т. И. Примаков – Пермь: 1980.– 127 с.
- 63 Проскурина И.И. Использование металлургических шлаков для очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов//Экология и промышленность России. – 2006. – №5. – С. 16.
- 64 Смирнов А.Д. Сорбционная очистка воды: учебник / А.Д. Смирнов – Москва: Металлургия, 1982 – 137 с.
- 65 Чикина Г.А. Ионно-обменные методы очистки веществ: учебник / Г.А. Чикина, О.Н. Мягкой – Воронеж: издательство Воронежского университета, 1984 – 204 с.
- 66 Климов Е.С. Природные сорбенты и комплексоны в очистке сточных вод/ Е. С. Климов, М. В. Бузаева – Ульяновск : УлГТУ, 2011. – 201 с.
- 67 Везенцев А.И. Установление кинетических закономерностей сорбции ионов Cu^{2+} нативными и магний–замещенными формами монтмориллонитовых глин/ А. И. Вязенцев, С.В.Королькова, Н.А.Воловичева – Москва: Стройиздат, 2010. 120 с.
- 68 Лебедь А.Б. Очистка дренажных вод от металлов с использованием природного сорбента / А.Б. Лебедь, Л.Ф.Акулич, А.В.Филатова, К.Л.Тимофеев – Екатеринбург: Форт Диалог–Исеть, 2011 490 с.
- 69 Тимофеев К.Л. Сорбционное извлечение тяжелых металлов из техногенных стоков/К.Л. Тимофеев, Л.Ф. Акулич//Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – 2012. – №11. – С. 26.
- 70 Справочник проектировщика «Канализация населённых мест и промышленных предприятий» / Н.И.Лихачев, И.И.Ларин, С.А.Хаскин [и др.]. – Москва: Стройиздат, 1981. – 639 с.
- 71 Запольских А.К. Комплексная переработка сточных вод гальванического производства: учебник / А.К. Запольских – Киев: Техника, 1989. – 143 с.
- 72 Линников О. Д. Сорбция шестивалентного хрома из водного раствора наноразмерным магнетитом/ О. Д. Линников, И.В. Родина, В. Г. Шевченко, А. Е. Ермаков [и др.]// Вода: химия и экология. – 2011. – № 5. С. 68-75.
- 73 Родионов А.И. Техника защиты окружающей среды/ А. И. Родионов, В. Н. Клушин, Н. С. Торочешников – Москва: Химия, 1989. – 512 с.

74 Губская Е.С. Утилизация отходов гальванического производства, содержащих хром (VI) / Е.С. Губская // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2005. – №2.

75 Халтурина Т. И. Исследование технологического процесса обезвреживания хромсодержащих сточных вод предприятий машиностроительного профиля/ Т. И. Халтурина, А. Г. Бобрик, О. В. Чурбакова // ВЕСТНИК ИрГТУ. – 2015. – №12. – С.107.

76 Чантурия В.А. Гальванохимические методы очистки техногенных вод. Теория и практика/ В. А. Чантурия, П. М. Соложенкин – Москва: ИКЦ «Академкнига», 2005. – 204 с.

77 Халтурина Т. И. Реагентная очистка хромсодержащих сточных вод/ Т. И. Халтурина, А. Г. Бобрик, О. В. Чурбакова // ВЕСТНИК ИрГТУ. – 2014. – №6. – С.128.

78 Грудинов Ю.М. Автоматизация систем водоснабжения и водоотведения : учеб. пособие/ Ю. М. Грудинов, Ю.М. Тюханов – Красноярск: КрасГАСА, 2001. – 60 с..

79 Грудинов Ю.М. Энергосберегающее регулирование производительности насосов: методические указания к расчетно-графической работе для студентов специальности 290800 – «Водоснабжение и водоотведение»/ Ю. М. Грудинов. – Красноярск: КрасГАСА, 2001. – 32 с.

80 Об утверждении Методики исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства [электронный ресурс]: приказ Минприроды РФ от 13.04.2009 № 87. // Справочная правовая система «КонсультантПлюс». – Режим доступа: <http://http://www.consultant.ru>.

81 Арустамов Э.А. БЖД: учебник/ Э. А. Арустамов. – Москва: Дашков и Ко, 2006. – 476 с.

82 Ходюков Неорганическая химия. Учебник для 7-8 кл. Ходаков Ю.В., Эпштейн Д.А., Глориозов П.А Москва, просвещение 1986 240с

83 Правила безопасности при работе с кислотами и щелочами в учреждениях, организациях и на предприятиях: приложение к распоряжению Президиума АН СССР от «5» декабря 1984 г. № 10143-2012

84 Об утверждении требований к комплектации изделиями медицинского назначения аптек для оказания первой помощи работникам. Приложение: приказ Министерства здравоохранения и социального развития РФ от 5 марта 2011 г. №169н

85 Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок ПОТРМ-016-2001. РД 153-34.0-03.150 – 00: утверждено Минтрудом РФ 18.02.2003, Минэнерго РФ 20.02.2003

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Изучение процесса очистки сточных вод реагентным методом

Таблица А.1 Матрица планирования эксперимента

№ опыта	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₁	X ₂	X ₁ ²	X ₂ ²	X ₃ ²	Z ₁ мг/л	Z ₂ рН _{исх}	Z ₃ Д _р , мг/л	Y ₁ мг/л
1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	125	2,5	450	0,02
2	-1	+1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	65	2,5	450	0,01
3	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	+1	+1	125	1,5	450	0,09
4	+1	+1	-1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	125	2,5	250	0,07
5	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	65	1,5	230	0,3
6	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	65	1,5	450	0,01
7	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	+1	+1	65	2,5	250	0,46
8	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	125	1,5	250	0,83
9	-1,68	0	0	0	0	0	2,82	0	0	40,6	2	350	0,01
10	1,68	0	0	0	0	0	2,82	0	0	145,4	2	350	5,87
11	0	-1,68	0	0	0	0	0	2,82	0	95	1,16	350	0,23
12	0	1,68	0	0	0	0	0	2,82	0	95	2,84	350	0,01
13	0	0	-1,68	0	0	0	0	0	2,82	95	2	182	5
14	0	0	1,68	0	0	0	0	0	2,82	95	2	518	0,01
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	95	2	350	0,01
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	95	2	350	0,24
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	95	2	350	0,01
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	95	2	350	0,05
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	95	2	350	0,09
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	95	2	350	0,02

Рассчитаем, опираясь на таблицу А1, коэффициенты уравнения регрессии для выходного параметра Y₁ – остаточная концентрация ионов Cr⁶⁺:

$$\sum X_1 \cdot X_2 = 10,075, \quad (A.1)$$

$$\sum X_2 \cdot Y_1 = -1,04, \quad (A.2)$$

$$\sum X_3 \cdot Y_1 = -9,773, \quad (A.3)$$

$$\sum Y_1 = 13,34, \quad (A.4)$$

$$\sum X_1 \cdot X_2 \cdot Y_1 = -0,99, \quad (A.5)$$

$$\sum X_1 \cdot X_3 \cdot Y_1 = 0,09, \quad (A.6)$$

$$\sum X_2 \cdot X_3 \cdot Y_1 = 0,67, \quad (A.7)$$

$$\sum X_1^2 \cdot Y_1 = 18,386, \quad (A.8)$$

$$\sum X_2^2 \cdot Y_1 = 2,467, \quad (A.9)$$

$$\sum X_3^2 \cdot Y_1 = 15,93, \quad (A.10)$$

Оценки коэффициентов регрессии:

$$b_0 = a_1 \sum_{i=1}^N Y_i - a_2 \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^N X_{ji}^2 Y_i, \quad (A.11)$$

где a_1, a_2 – коэффициенты регрессии.

$$b_0 = 0,1663 \cdot 13,340 - 0,0568 \cdot 36,783 = 0,129, \quad (A.12)$$

где a_3 – коэффициент регрессии.

$$b_1 = 0,0732 \cdot 10,075 = 0,737,$$

$$b_2 = 0,0732 \cdot (-1,04) = -0,076,$$

$$b_3 = 0,0732 \cdot (-9,773) = -0,715$$

$$b_{uj} = a_4 \sum_{i=1}^N X_{ui} X_{ji} Y_i; u \neq j; j, u = 1, 2, 3, \quad (A.13)$$

где a_4 – коэффициент регрессии.

$$b_{12} = 0,125 \cdot (-0,99) = -0,124,$$

$$b_{13} = 0,125 \cdot 0,09 = 0,011,$$

$$b_{23} = 0,125 \cdot 0,67 = 0,084$$

$$b_{jj} = a_5 \sum_{i=1}^N X_{ji}^2 Y_i + a_6 \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^N X_{ji}^2 Y_i - a_7 \sum_{i=1}^N Y_i, \quad (\text{A.14})$$

где a_5 , a_6 – коэффициенты регрессии.

$$b_{11} = 0,0625 \cdot 18,386 + 0,0069 \cdot 36,783 - 0,0568 \cdot 13,34 = 0,645,$$

$$b_{22} = 0,0625 \cdot 2,467 + 0,0069 \cdot 36,783 - 0,0568 \cdot 13,34 = -0,35,$$

$$b_{33} = 0,0625 \cdot 15,93 + 0,0069 \cdot 36,783 - 0,0568 \cdot 13,34 = 0,492$$

Дисперсией называется среднее значение квадрата отклонений величины от ее среднего значения.

Дисперсия обозначается S^2 и выражается формулой

$$S_{\text{воспр}}^2 = \frac{\sum_{u=1}^{n_0} \left(Y_u^0 - \bar{Y}^0 \right)^2}{n_0 - 1}, \quad (\text{A.15})$$

где $n_0 - 1$ – число степеней свободы равное количеству опытов минус единица;

\bar{Y}^0 – среднее значение выборки;

Y_u^0 – результат отдельного опыта.

Расчеты построчной дисперсии и средних значений наиболее успешных опытов приведены в таблице А.2.

Таблица А.2 – Расчет построчной дисперсии и средних значений

Выборка нулевых значений	Построчная дисперсия
0,01	0,0036
0,24	0,0289
0,01	0,0036
0,05	0,0004
0,09	0,0004
0,02	0,0025
$\sum 0,42$	$\sum 0,0394$

Среднее значение выборки определяется по формуле:

$$\bar{Y}^0 = \frac{\sum \bar{Y}^0}{n}, \quad (\text{A.16})$$

где $\sum \bar{Y}^0$ – сумма нулевых значений;

n – количество значений в выборке.

$$\bar{Y}^0 = \frac{0,42}{6} = 0,07,$$

Из расчета следует, что величина дисперсии производительности равна сумме построчных (выборочных) дисперсий:

$$S_y^2 = \frac{0,0394}{5} = 0,00788,$$

$$S_y = 0,0888$$

$$S_{b_0}^2 = a_1 S_y^2 = 0,1663 \cdot 0,00788 = 0,0013, \quad (\text{A.17})$$

$$S_{b_0} = 0,0362$$

$$S_{b_j}^2 = a_3 S_y^2 = 0,0732 \cdot 0,00788 = 0,000577, \quad (\text{A.18})$$

$$S_{b_j} = 0,024$$

$$S_{b_{uj}}^2 = a_4 S_y^2 = 0,125 \cdot 0,00788 = 0,000985, \quad (\text{A.19})$$

$$S_{b_{uj}} = 0,0314$$

$$S_{b_{jj}}^2 = (a_5 + a_6) \cdot S_y^2 = (0,0625 + 0,0069) \cdot 0,00788 = 0,000547, \quad (\text{A.20})$$

$$S_{b_{jj}} = 0,0234.$$

Значимость коэффициентов уравнения регрессии определяем по критерию Стьюдента:

$$t_0 = \frac{0,1292}{0,0362} = 3,57,$$

$$t_1 = \frac{0,737}{0,024} = 30,71,$$

$$t_2 = \frac{0,076}{0,024} = 3,17,$$

$$t_3 = \frac{0,715}{0,024} = 29,79,$$

$$t_{11} = \frac{0,645}{0,0314} = 20,54,$$

$$t_{12} = \frac{0,124}{0,0314} = 3,95,$$

$$t_{13} = \frac{0,011}{0,0314} = 0,35,$$

$$t_{22} = \frac{0,35}{0,0234} = 14,96,$$

$$t_{23} = \frac{0,084}{0,0314} = 2,68,$$

$$t_{33} = \frac{0,492}{0,0234} = 21,03$$

Определяем остаточную дисперсию:

$$S_{ocm}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{N - l}, \quad (A.21)$$

где l – число значимых факторов в уравнении;

N – число опытов;

y_i – значение остаточной концентрации Cr^{6+} для каждого опыта;

\hat{y}_i – значение, определяемое для каждого опыта подстановкой в уравнение.

Значения \hat{y}_i , определяемые для каждого опыта подстановкой в уравнение значений переменных согласно матрице планирования, и y_i и $(y_i - \hat{y}_i)^2$ приведены в таблице А.3.

Таблица А.3 – Определение значений y_i , $(y_i - \hat{y}_i)^2$ и \hat{y}_i

№	y_i	\hat{Y}_i	$(y_i - \hat{y}_i)^2$	№	y_i	\hat{Y}_i	$(y_i - \hat{y}_i)^2$
1	0,02	-0,4070	0,182	11	0,23	-0,9865	1,480
2	0,01	1,0570	1,096	12	0,01	2,7188	7,338
3	0,09	0,8250	0,540	13	5	0,3164	21,936
4	0,07	0,9270	0,734	14	0,01	0,1290	0,014
5	0,3	-0,6710	0,943	15	0,01	0,1290	0,014
6	0,01	0,8550	0,714	16	0,24	0,1290	0,012
7	0,46	2,6550	4,818	17	0,01	0,1290	0,014

Окончание таблицы А.3

№	y_i	\hat{Y}_i	$(y_i - \hat{y}_i)^2$	№	y_i	\hat{Y}_i	$(y_i - \hat{y}_i)^2$
8	0,83	0,7062	0,015	18	0,05	0,1290	0,006
9	0,01	3,1926	10,129	19	0,09	0,1290	0,002
10	5,87	-0,7312	43,575	20	0,02	0,1290	0,012
							$\Sigma 39,576$

Тогда остаточная дисперсия равна:

$$S_{\text{ост}}^2 = \frac{39,576}{20 - 9} = 3,5978,$$

$$S_{\text{ост}} = 1,897$$

Определяем дисперсию адекватности:

$$S_{\text{ад}}^2 = \frac{S_{\text{ост}} - S}{f_{\text{ад}}}, \quad (\text{A.22})$$

где $S_{\text{ост}}, S$ – остаточная дисперсия и квадратичная соответственно;
 f – число степеней свободы дисперсии адекватности (А.24).

Число степеней свободы остаточной дисперсии $f_{\text{ост}}$ и дисперсии адекватности $f_{\text{ад}}$:

$$f_{\text{ост}} = N - l = 20 - 9 = 11, \quad (\text{A.23})$$

где N – число опытов в эксперименте;
 l – количество членов в уравнении регрессии.

$$f_{\text{ад}} = f_{\text{ост}} - f_o = 11 - 5 = 6 \quad (\text{A.24})$$

где $f_{\text{ост}}$ – число степеней свободы; остаточной дисперсии (А.23);
 l – число степеней свободы.

Тогда остаточная дисперсия равна:

$$S_{\text{ад}}^2 = \frac{1,897 - 0,0888}{6} = 0,301$$

Определяем адекватность по критерию Фишера. Для этого находим отклонение F – критерия:

$$F_p = \frac{\frac{S_{ad}}{f_{ad}}}{\frac{S_o}{f_o}}, \quad (\text{A.25})$$

где S_o, S_{ad} – остаточная дисперсия и дисперсия адекватности соответственно;
 f_{ad} – дисперсия адекватности;
 f_o – число степеней свободы.

$$F_p = \frac{\frac{0,301}{6}}{\frac{0,0888}{5}} = 2,82$$

Уравнение регрессии по остаточной концентрации ионов Cr^{6+} приводим к натуральному виду и затем, изменяя сочетания и значения параметров, определяем необходимые графические зависимости:

$$X_i = \frac{Z_i - Z_{oi}}{\Delta Z_i}, \quad (\text{A.26})$$

$$X_i X_{(i+1)} = \frac{(Z_i - Z_{oi}) \cdot (Z_{(i+1)} - Z_{o(i+1)})}{\Delta Z_i \cdot \Delta Z_{(i+1)}}, \quad (\text{A.27})$$

$$X_i^2 = \frac{(Z_i - Z_{oi})^2}{\Delta Z_i^2} \quad (\text{A.28})$$

где $Z_{oi}, Z_{o(i+1)}$ – «нулевые» значения параметров X_1, X_2, X_3 ;

$\Delta Z_i, \Delta Z_{(i+1)}$ – шаг изменения соответствующего параметра.

Из таблицы 2.1.1 Факторы и интервалы варьирования выявляем:

$\Delta Z_1=30$	$Z_{o1}=95$
$\Delta Z_2=0,5$	$Z_{o2}=2$
$\Delta Z_3=100$	$Z_{o3}=350$

Преобразуя выведенную математическую модель, получим:

$$\begin{aligned} Y_1 = & 0,129 + 0,74 \cdot \frac{(Z_1 - Z_{o1})}{\Delta Z_1} - 0,076 \cdot \frac{(Z_2 - Z_{o2})}{\Delta Z_2} - 0,715 \cdot \frac{(Z_3 - Z_{o3})}{\Delta Z_3} - \\ & - 0,124 \cdot \frac{(Z_1 Z_2 - Z_{o1} Z_{o2} - Z_1 Z_{o2} + Z_{o1} Z_{o2})}{\Delta Z_1 \cdot \Delta Z_2} + 0,084 \cdot \frac{(Z_2 Z_3 - Z_{o2} Z_{o3} - Z_2 Z_{o3} + Z_{o2} Z_{o3})}{\Delta Z_2 \cdot \Delta Z_3} + \\ & + 0,645 \cdot \frac{(Z_1^2 - 2Z_1 Z_{o1} + Z_{o1}^2)}{\Delta Z_1^2} - 0,35 \cdot \frac{(Z_2^2 - 2Z_2 Z_{o2} + Z_{o2}^2)}{\Delta Z_2^2} + 0,492 \cdot \frac{(Z_3^2 - 2Z_3 Z_{o3} + Z_{o3}^2)}{\Delta Z_3^2} \end{aligned} \quad (\text{A.29})$$

Подставляя известные значения в уравнение А.29 получим:

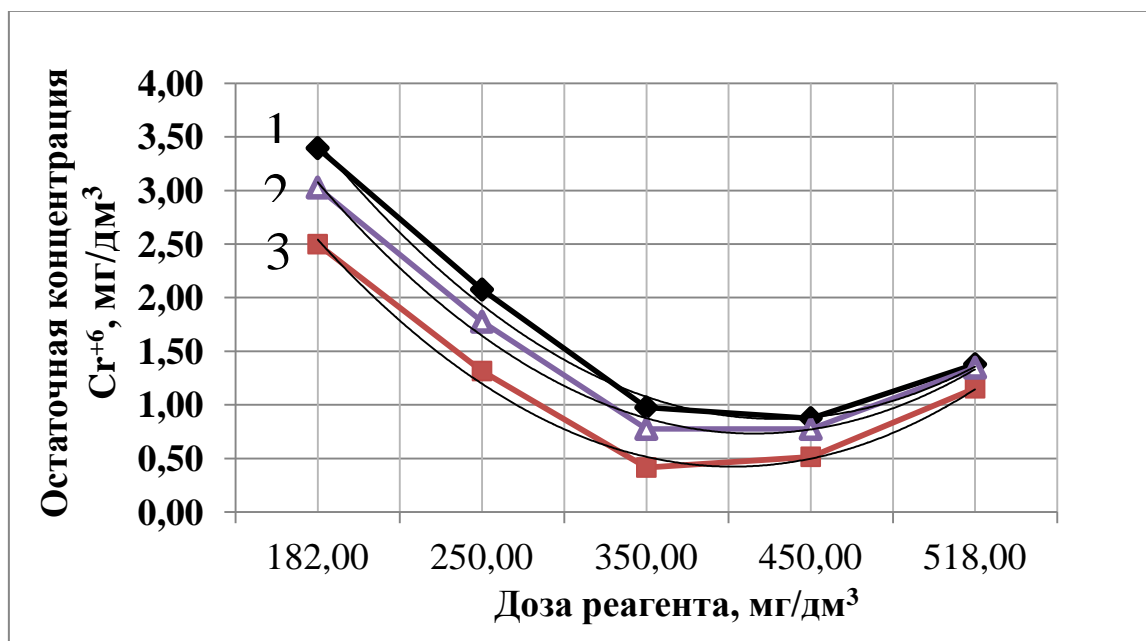
$$\begin{aligned}
 Y_1 = & 0,129 + 0,74 \frac{Z_1}{30} - 0,74 \frac{95}{30} - 0,076 \frac{Z_2}{0,5} + 0,076 \frac{2}{0,5} - 0,715 \frac{Z_3}{100} + 0,715 \frac{350}{100} - \\
 & - 0,124 \frac{Z_1 Z_2}{30 \cdot 0,5} + 0,124 \frac{95 \cdot Z_2}{30 \cdot 0,5} + 0,124 \frac{Z_1 \cdot 2}{30 \cdot 0,5} - 0,124 \frac{95 \cdot 2}{30 \cdot 0,5} + 0,084 \frac{Z_2 Z_3}{0,5 \cdot 100} - \\
 & - 0,084 \frac{2 \cdot Z_3}{0,5 \cdot 100} - 0,084 \frac{Z_2 \cdot 350}{0,5 \cdot 100} + 0,084 \frac{2 \cdot 350}{0,5 \cdot 100} + 0,645 \frac{Z_1^2}{30^2} - 0,645 \frac{2 \cdot Z_1 \cdot 95}{30^2} + \\
 & + 0,645 \frac{95^2}{30^2} - 0,35 \frac{Z_2^2}{0,5^2} + 0,35 \frac{2 \cdot Z_2 \cdot 2}{0,5^2} - 0,35 \frac{2^2}{0,5^2} + 0,492 \frac{Z_3^2}{100^2} - 0,492 \frac{2 \cdot Z_3 \cdot 350}{100^2} + \\
 & + 0,492 \frac{350^2}{100^2}
 \end{aligned} \quad (A.30)$$

После преобразований получим:

$$\begin{aligned}
 Y_1 = & 0,129 + 0,025Z_1 - 2,34 - 0,152Z_2 + 0,304 - 0,007Z_3 + 2,503 - 0,008Z_1Z_2 + 0,785Z_2 + \\
 & + 0,017Z_1 - 1,57 + 0,002Z_2Z_3 - 0,003Z_3 - 0,588Z_2 + 1,176 + 0,0007Z_1^2 - 0,136Z_1 + 6,47 - \\
 & - 1,4Z_2^2 + 5,6Z_2 - 5,6 + 0,00005Z_3^2 - 0,034Z_3 + 6,03
 \end{aligned} \quad (A.31)$$

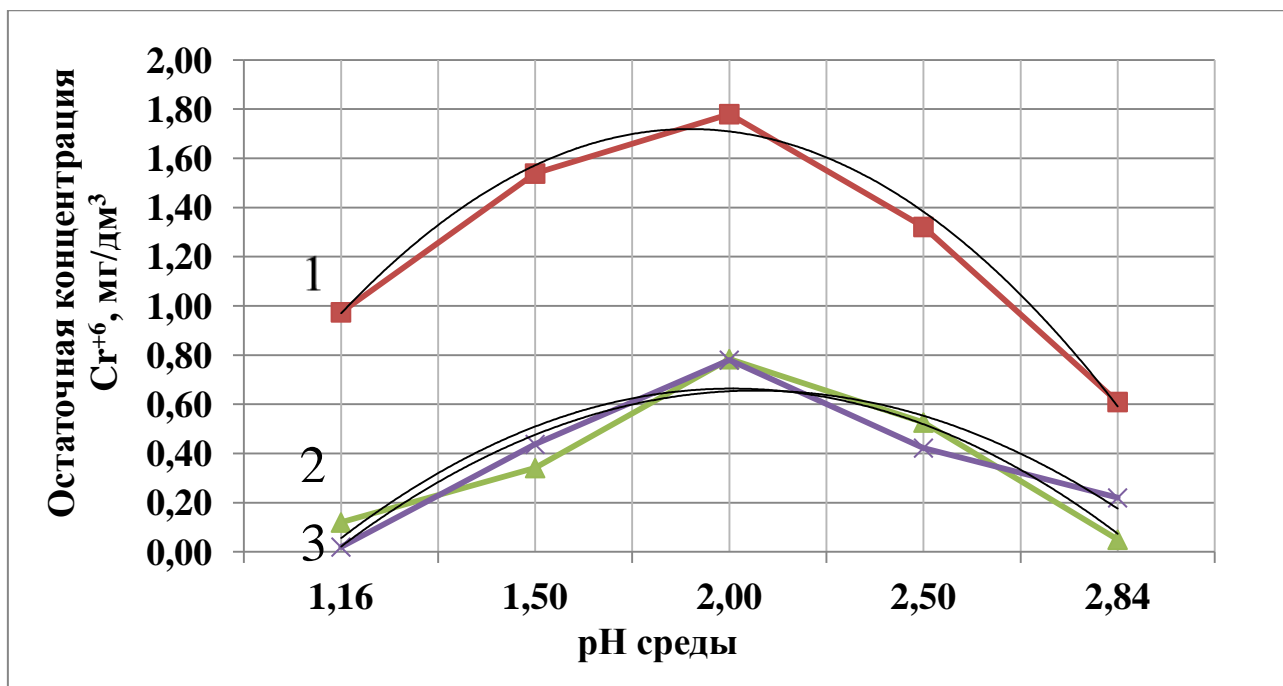
Что тождественно уравнению:

$$\begin{aligned}
 Y_1 = & 0,0007 \cdot Z_1^2 - 1,4 \cdot Z_2^2 + 0,00005 \cdot Z_3^2 - 0,094 \cdot Z_1 + 5,64 \cdot Z_2 - 0,044 \cdot Z_3 - 0,008 \cdot Z_1 \cdot Z_2 + \\
 & + 0,002 \cdot Z_2 \cdot Z_3 + 7,102
 \end{aligned} \quad (A.32)$$



$$C_{исх}^{Cr^{6+}} = 95 \text{ мг} / \text{дм}^3; pH_1 = 1,5; pH_2 = 2,5; pH_3 = 2$$

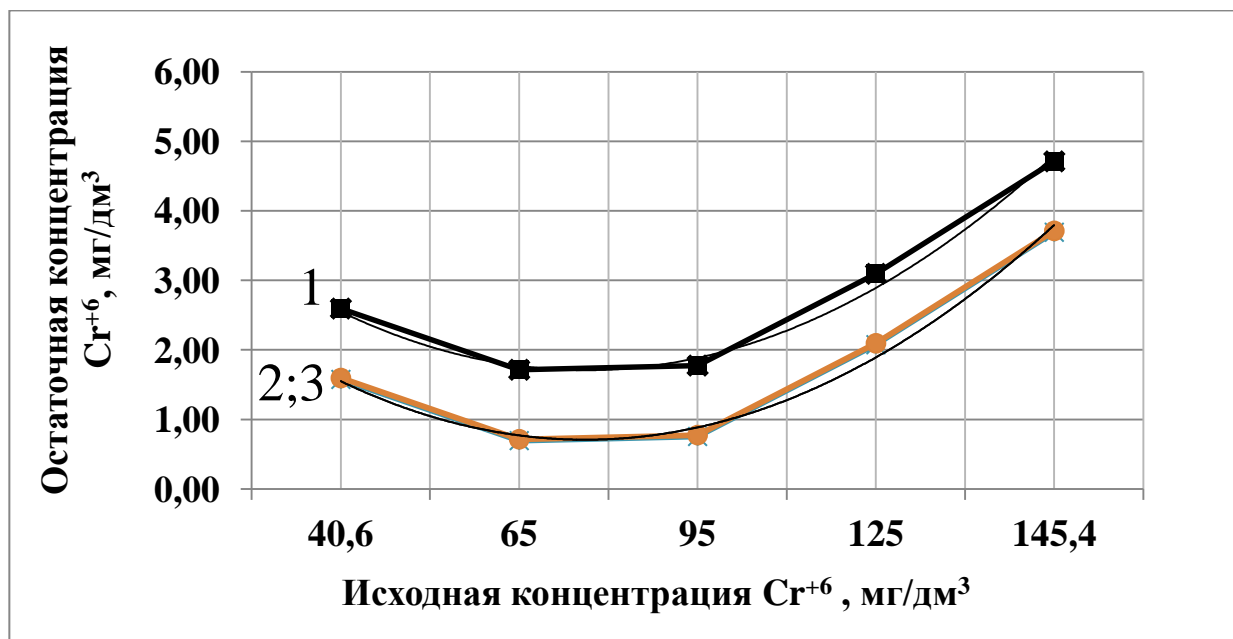
Рисунок А.1 – Зависимость остаточной концентрации Cr^{6+} от дозы $FeSO_4$



$$C_{\text{исх}}^{\text{Cr}^{6+}} = 95 \text{ мг} / \text{дм}^3;$$

$$D_{\text{FeSO}_4 1} = 250 \text{ мг} / \text{дм}^3; D_{\text{FeSO}_4 2} = 450 \text{ мг} / \text{дм}^3; D_{\text{FeSO}_4 3} = 350 \text{ мг} / \text{дм}^3$$

Рисунок А.2 – Зависимость остаточной концентрации Cr^{6+} от pH исходной среды



$$pH = 2;$$

$$D_{\text{FeSO}_4 1} = 250 \text{ мг} / \text{дм}^3; D_{\text{FeSO}_4 2} = 450 \text{ мг} / \text{дм}^3; D_{\text{FeSO}_4 3} = 350 \text{ мг} / \text{дм}^3$$

Рисунок А.3 – Зависимость остаточной концентрации Cr^{6+} от исходной концентрации Cr^{6+}

Таблица А.4 – Обработка эксперимента методом Брандона

N опыта	x ₁	x ₂	x ₃	У _{ост} мг/дм ³	y ₀	f ₁ (x ₁)	y ₁	f ₂ (x ₂)	y ₂	f ₃ (x ₃)	y ₃	K	K _{ср}	d ²
1	125	450	2,5	0,02	0,030	2,385	0,013	-26,626	-0,0005	0,119	-0,004	-0,0002	0,0082	0,00007
2	65	450	2,5	0,01	0,015	0,285	0,052	-26,626	-0,0020	0,119	-0,017	-0,0008	0,0088	0,00008
3	125	450	1,5	0,09	0,134	2,385	0,056	-26,626	-0,0021	0,091	-0,023	-0,0012	0,0092	0,00008
4	125	250	2,5	0,07	0,104	2,385	0,044	-5,306	-0,0083	0,119	-0,070	-0,0035	0,0115	0,00013
5	65	230	1,5	0,3	0,448	0,285	1,569	-3,130	-0,5014	0,091	-5,509	-0,2754	0,2834	0,08033
6	65	450	1,5	0,01	0,015	0,285	0,052	-26,626	-0,0020	0,091	-0,022	-0,0011	0,0091	0,00008
7	65	250	2,5	0,46	0,687	0,285	2,406	-5,306	-0,4535	0,119	-3,823	-0,1912	0,1992	0,03967
8	125	250	1,5	0,83	1,239	2,385	0,519	-5,306	-0,0979	0,091	-1,075	-0,0538	0,0618	0,00381
9	40,6	350	2	0,01	0,015	0,873	0,017	-16,066	-0,0011	0,356	-0,003	-0,0001	0,0081	0,00007
10	145,4	350	2	5,87	8,761	4,247	2,063	-16,066	-0,1284	0,356	-0,360	-0,0180	0,0260	0,00068
11	95	350	1,16	0,23	0,343	0,705	0,487	-16,066	-0,0303	-0,377	0,080	0,0040	0,0040	0,00002
12	95	350	2,84	0,01	0,015	0,705	0,021	-16,066	-0,0013	-0,330	0,004	0,0002	0,0078	0,00006
13	95	182	2	5	7,463	0,705	10,581	2,125	4,9791	0,356	13,975	0,6987	-0,6907	0,47711
14	95	518	2	0,01	0,015	0,705	0,021	-33,693	-0,0006	0,356	-0,002	-0,0001	0,0081	0,00007
15	95	350	2	0,01	0,015	0,705	0,021	-16,066	-0,0013	0,356	-0,004	-0,0002	0,0082	0,00007
16	95	350	2	0,24	0,358	0,705	0,508	-16,066	-0,0316	0,356	-0,089	-0,0044	0,0124	0,00015
17	95	350	2	0,01	0,015	0,705	0,021	-16,066	-0,0013	0,356	-0,004	-0,0002	0,0082	0,00007
18	95	350	2	0,05	0,075	0,705	0,106	-16,066	-0,0066	0,356	-0,018	-0,0009	0,0089	0,00008
19	95	350	2	0,09	0,134	0,705	0,190	-16,066	-0,0119	0,356	-0,033	-0,0017	0,0097	0,00009
20	95	350	2	0,02	0,030	0,705	0,042	-16,066	-0,0026	0,356	-0,007	-0,0004	0,0084	0,00007
				Σ13,34								Σ0,150		
				y _{ср} 0,67								K _{ср} 0,008		

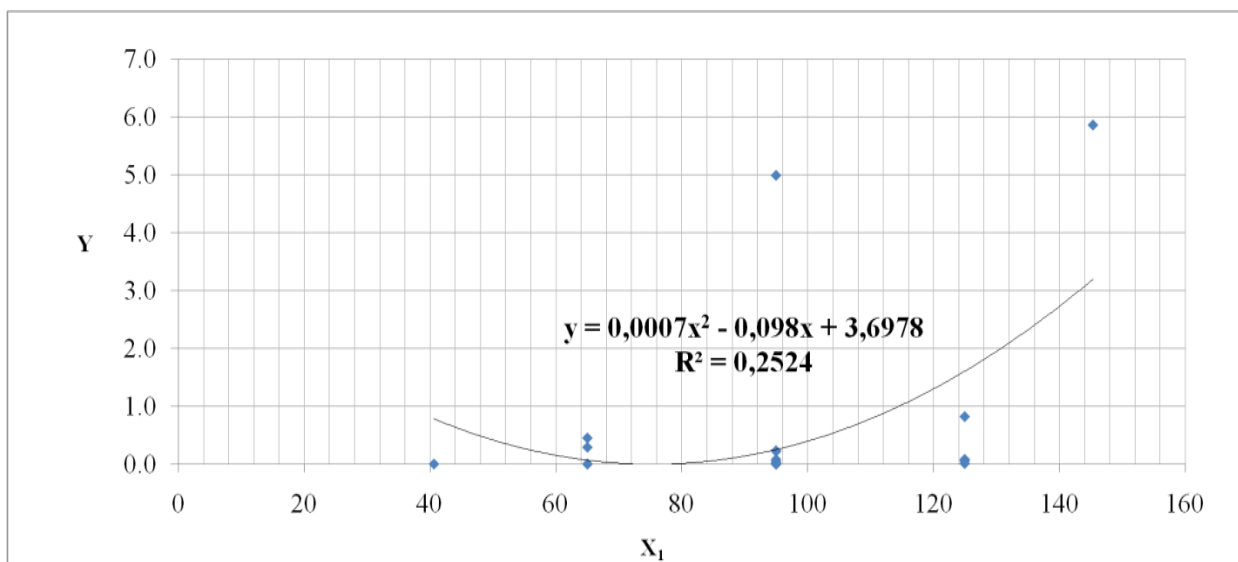


Рисунок А.4 – Зависимость остаточной концентрации Cr^{6+} (Y) от исходной концентрации Cr^{6+} (X_1)

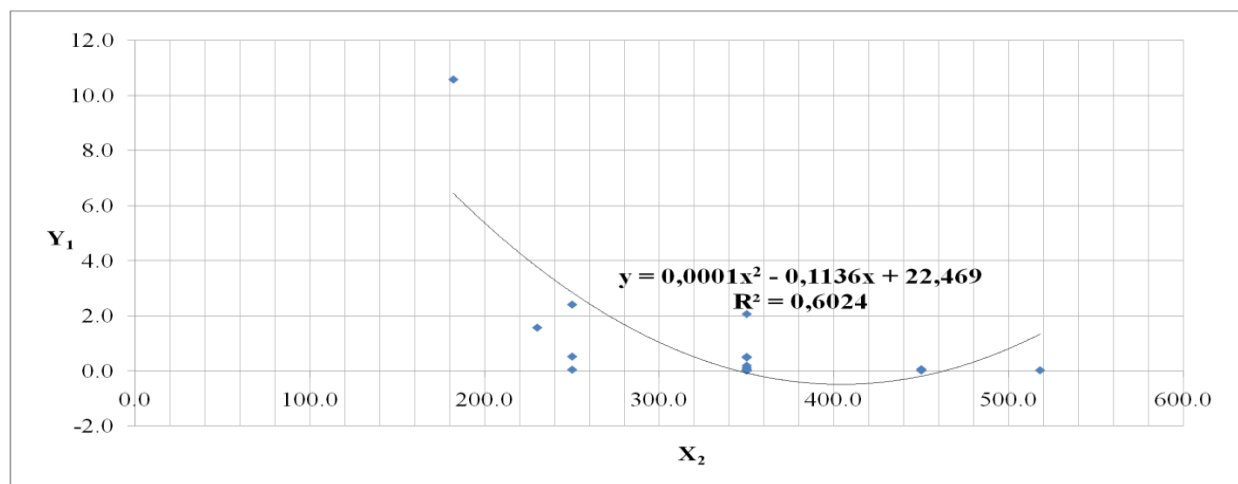


Рисунок А.5 – Зависимость выборки Y_1 от дозы реагента (X_2)

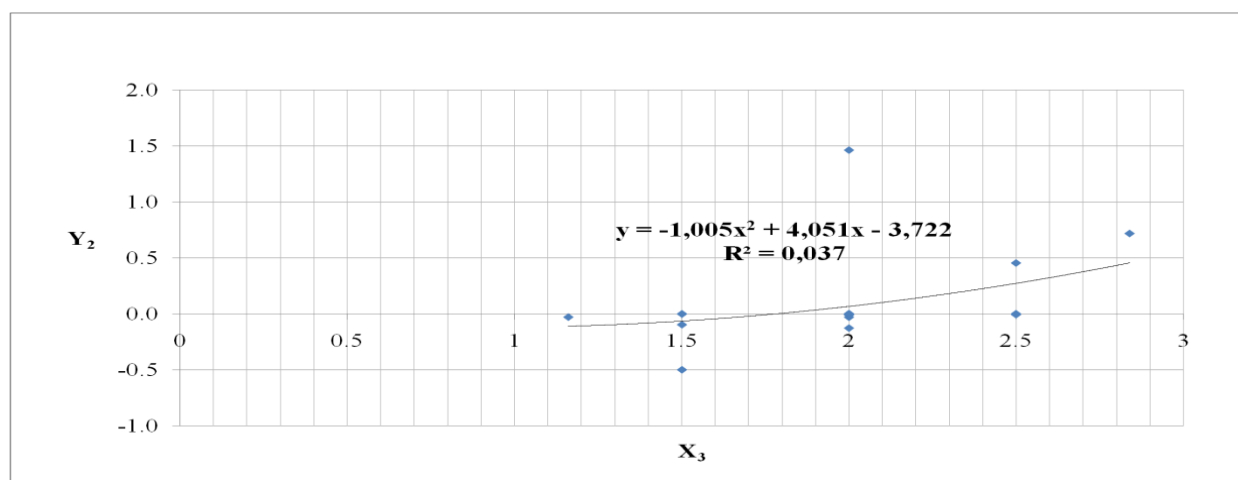


Рисунок А.6 – Зависимость выборки Y_2 от величины pH (X_3)

Удельное сопротивление осадка — сопротивление единицы массы твердой фазы, отлагающейся на единице площади фильтра при фильтровании под постоянным давлением суспензии, вязкость жидкой фазы которой равна 1,0.

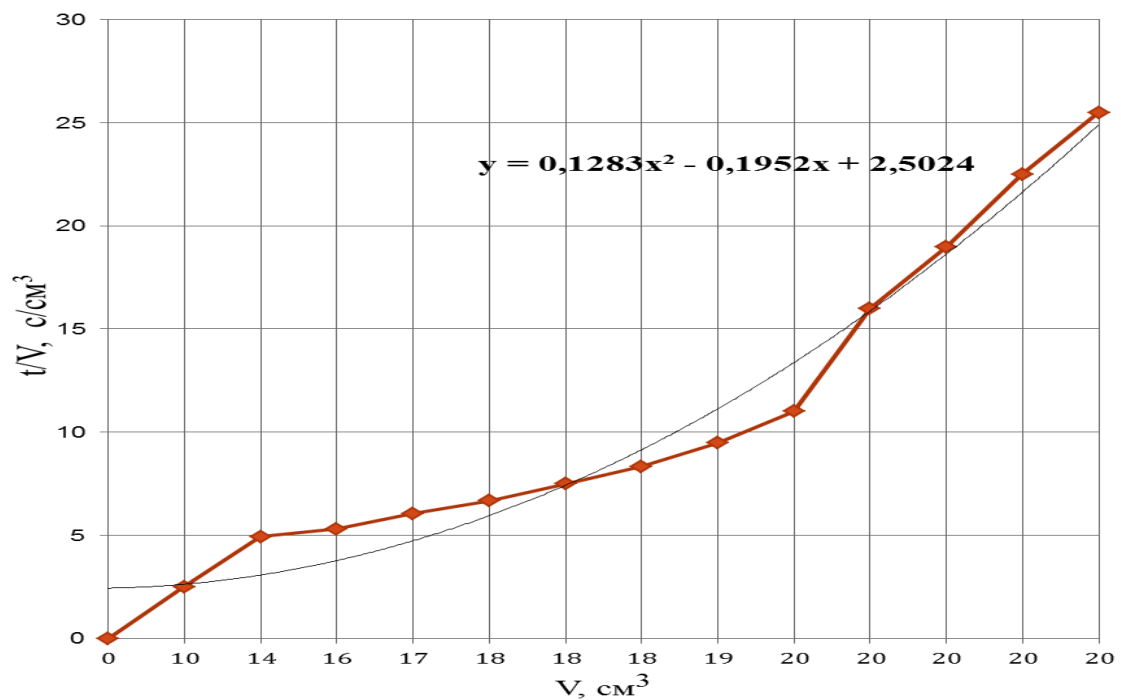


Рисунок А.7 – Удельное сопротивление осадка хромсодержащих сточных вод

$$\gamma = \frac{2 \cdot P \cdot F^2 \cdot b}{v \cdot C} = \frac{2 \cdot 232,65 \cdot 1747 \cdot 0,128}{0,01 \cdot 0,027} \cdot 1333,22 = 136 \cdot 10^{10} \text{ см} / \text{г} \quad (\text{A.33})$$

где P – давление, при котором происходила фильтрация;
 F – площадь фильтра, см;
 b – параметр, полученный опытным путем, тангенс угла наклона прямой, построенной в координатах t/V и V , с/см;
 v – вязкость фильтрата;
 C – концентрация осадка, г/см³.

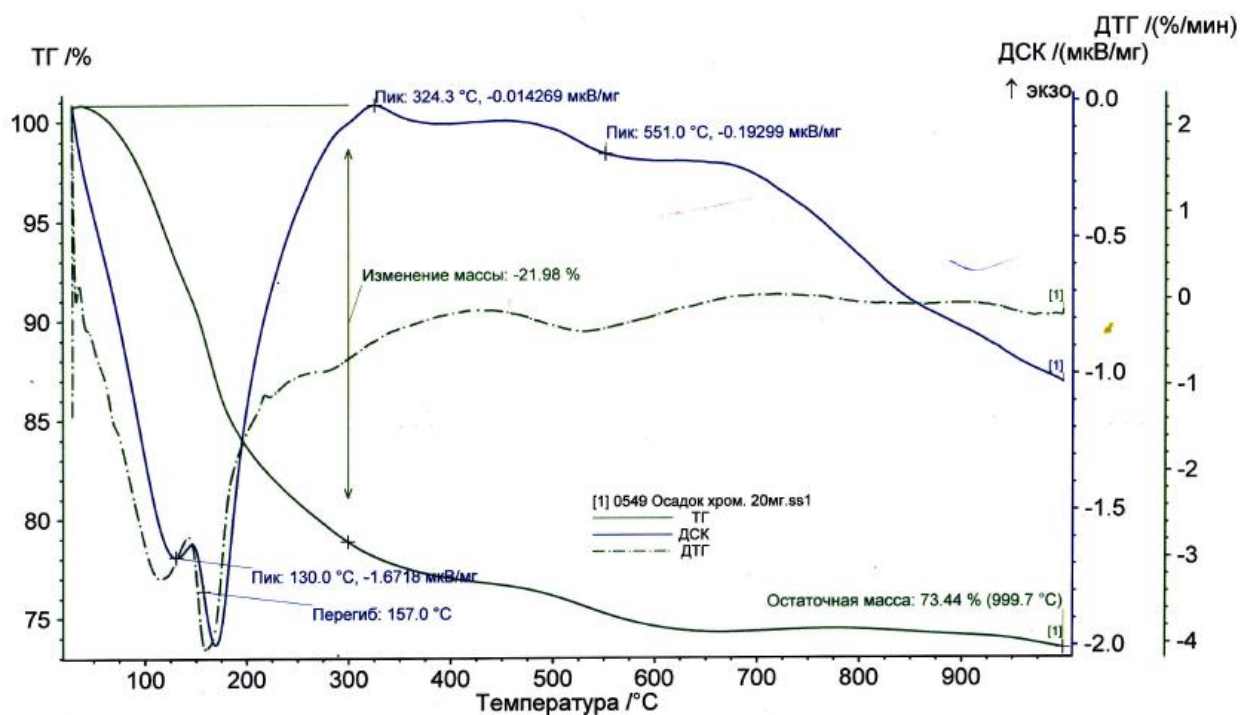


Рисунок А.8 – Термограмма осадка хромсодержащих сточных вод

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Гальванокоагуляционный метод обезвреживания сточных вод, содержащих ионы Cr^{6+}

Б.1 Расчет усреднителя сточных вод

Объем усреднителя для хромстоков определяют по формуле

$$W = Q_{\text{ч}} \cdot \frac{T}{2}, \quad (\text{Б.1.1})$$

где $Q_{\text{ч}}$ – часовой расход, $\text{м}^3/\text{ч}$;
 T – время нахождения воды в усреднителе, ч.

$$W = 6,25 \cdot \frac{8}{2} = 25,04 \text{ м}^3$$

Проектируем 2 рабочих отделения, с глубиной $H=1,5$ м.
Площадь одного отделения определяют по формуле

$$F = \frac{W}{2 \cdot H}, \quad (\text{Б.1.2})$$

где W – объем усреднителя для хромстоков, м^3 ;
 H – высота отделения, м.

$$F = \frac{25,04}{2 \cdot 1,5} = 8,35 \text{ м}^2$$

Принимаем ширину каждого отделения $B=3$ м.
Длина отделения определяется по формуле

$$L = F/B, \quad (\text{Б.1.3})$$

$$L = 8,35/3 = 2,78 \text{ м}$$

Принимаем длину усреднителя 3 м.
Расход воздуха для перемешивания определяется по формуле

$$Q_{\text{возд}} = n \cdot L_{\text{б}} \cdot q_{\text{в}}, \quad (\text{Б.1.4})$$

где $L_{\text{б}}$ – длина барботера определяется по формуле (3.1. 5);

$q_с$ – удельный расход воздуха, м³/ч.

$$Q_{возд} = 2 \cdot 2,8 \cdot 12 = 67,2 \text{ м}^3 / \text{ч} = 1,12 \text{ м}^3 / \text{мин},$$

Длина барботера:

$$L_b = L - 0,2, \quad (\text{Б.1.5})$$

где L – длина отделения, м.

$$L_b = 3 - 0,2 = 2,8 \text{ м}$$

Неравномерность поступления хромсодержащих сточных вод показана на рисунке Б.1.1.

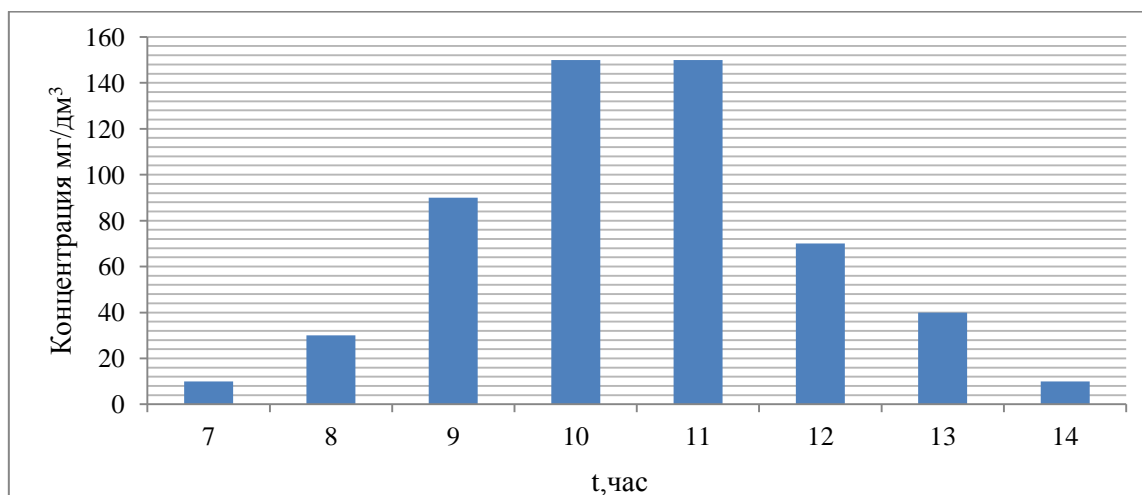


Рисунок Б.1.1 – Часовая неравномерность поступления хромстоков

Средняя концентрация загрязнений в стоках определяется по формуле

$$C_{cp} = \frac{\sum_1^t Q \cdot C}{\sum_1^t Q}, \quad (\text{Б.1.6})$$

$$C_{cp} = \frac{6,25 \cdot (10 + 30 + 90 + 2 \cdot 150 + 70 + 40 + 10)}{50} = 68,75 \text{ мг} / \text{л}$$

Б.2 Расчет гальванокоагулятора

Площадь полезного сечения при диаметре стальной трубы 0,5 м и диаметре центрального стержня (анода) $d_a = 0,05$ м определяется по формуле

$$S_n = \frac{\pi}{4}(D^2 - d_a^2), \quad (\text{Б.2.1})$$

где D – диаметр гальванокоагулятора, м;
 d_a – диаметр центрального электрода, м

$$S_n = \frac{3,14}{4} \cdot (0,6^2 - 0,05_a^2) = 0,3 \text{ м}^2$$

Высота активной загрузки при времени контакта обрабатываемой воды $t=15$ мин определяется по формуле

$$H = \frac{Q \cdot t}{S_n}, \quad (\text{Б.2.2})$$

где Q – часовой расход воды на один гальванокоагуляционный модуль, м³/ч;
 t – время контакта, час;
 S_n – площадь полезного сечения, м².

$$H = \frac{2,08 \cdot 0,25}{0,3} = 1,7 \text{ м}$$

Общая высота модуля при соотношении объема загрузки и общего объема 0,7 определяется по формуле

$$H_{\text{общ}} = \frac{H}{0,7}, \quad (\text{Б.2.3})$$

где H – высота активной загрузки гальванокоагулятора, м.

$$H_{\text{общ}} = \frac{1,7}{0,7} = 2,5 \text{ м}$$

Объем активной загрузки определяется по формуле

$$V = S_n \cdot H, \quad (\text{Б.2.4})$$

где H – Высота активной загрузки, м;
 S_n – площадь полезного сечения, м².

$$V = 0,3 \cdot 1,7 = 0,51 \text{ м}^3$$

Масса каждого компонента активной загрузки вычисляется исходя из насыпного веса компонентов и массового соотношения в данном случае, для стальной стружки и кокса 4:1; $V_{загр} = 0,75 \text{ м}^3$.

Насыпной вес для СГН фракции 2,8-5 мм $\gamma_k = 470 \text{ кг} / \text{м}^3$, насыпной вес стальной стружки фракцией более 2мм $\gamma_{ст} = 950 \text{ кг} / \text{м}^3$.

Масса стальной стружки определяется по формуле

$$M_{ст} = V_{ст} \cdot \gamma_{ст} , \quad (\text{Б.2.5})$$

где V_k – объем стальной стружки, м^3 ;
 γ_k , – насыпная плотность стальной стружки, $\text{кг}/\text{м}^3$.

$$M_{ст} = 0,41 \cdot 950 = 390 \text{ кг} = 0,39 \text{ т}$$

Масса СГН определяется по формуле

$$M_k = V_k \cdot \gamma_k , \quad (\text{Б.2.6})$$

где V_k – объем СГН, м^3 ;
 γ_k , – насыпная плотность СГН, $\text{кг}/\text{м}^3$.

$$M_{ст} = V_k \cdot \gamma_k = 0,1 \cdot 470 = 47 \text{ кг} = 0,047 \text{ т}$$

Суммарный объем обрабатываемой воды для одного модуля исходя из коэффициента использования стальной стружки 0,9 и максимальной концентрации $Q_{общ}$ в обрабатываемой воде $100 \text{ мг}/\text{дм}^3$ ($0,1 \text{ кг}/\text{м}^3$) определяется по формуле

$$Q_{общ} = \frac{M_{ст} \cdot 0,9}{0,1} , \quad (\text{Б.2.7})$$

где $M_{ст}$ – масса стальной стружки, кг .

$$Q_{общ} = \frac{390 \cdot 0,9}{0,1} = 3510 \text{ м}^3$$

Минимальная продолжительность работы одного модуля производительностью $2,08 \text{ м}^3/\text{ч}$ при 8 часовой работе в сутки определяется по формуле

$$t = \frac{Q_{общ}}{q \cdot 8} , \quad (\text{Б.2.8})$$

где $Fe_{общ}$ – суммарный объем обрабатываемой воды для одного модуля, $м^3$.

$$t = \frac{3510}{2,08 \cdot 8} = 210,9_{сут}$$

Б.3 Расчет ферритизатора

Объем камеры определяется по формуле

$$W_K = \frac{Q_q \cdot t}{60}, \quad (Б.3.1)$$

где t - время пребывания в камере, равное 8 мин.

$$W_K = \frac{3,125 \cdot 8}{60} = 0,417 м^3$$

При скорости восходящего движения воды в верхней части камеры $V_в = 5$ мм/с или 18 м/ч площадь поперечного сечения верхней (цилиндрической) части камеры определяется по формуле

$$f_{B.} = \frac{Q_q}{V_B}, \quad (Б.3.2)$$

где Q_q – часовой расход воды, $м^3/ч$;

$V_в$ – скорость восходящего движения воды в верхней части камеры ферритизатора, мм/с.

$$f_B = \frac{3,125}{5} = 0,63 м^2$$

Диаметр верхней части камеры определяется по формуле

$$D_{B.} = \sqrt{\frac{4 \cdot f_B}{\pi}}, \quad (Б.3.3)$$

где $f_в$ – площадь поперечного сечения верхней части камеры, $м^2$.

$$D_{B.} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,43}{3,14}} = 0,74 м$$

При скорости входа воды $V_{вх} = 0,7$ м/с диаметр нижней части камеры определяются по формулам

$$d_{H.} = \sqrt{\frac{4 \cdot q_c}{\pi \cdot v_{BX}}}, \quad (\text{Б.3.4})$$

где q_c – секундный расход воды, м³/с;
 V_{BX} – входная скорость воды, м/с

$$d_{H.} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,00087}{3,14 \cdot 0,7}} = 0,04 \text{ м} = 40 \text{ мм}$$

Площадь поперечного сечения нижней камеры:

$$f_{B.} = \frac{\pi \cdot d_{H.}}{4}, \quad (\text{Б.3.5})$$

где d_H – диаметр нижней части камеры ферритизатора, м.

$$f_{B.} = \frac{3,14 \cdot 0,04}{4} = 0,0314 \text{ м} = 31,4 \text{ мм}$$

Высота конической части камеры хлопьеобразования при угле $\beta=50^\circ$ определяется по формуле

$$h_H = 0,5 \cdot (D_B - d_H) \cdot \text{ctg} \frac{\beta}{2}, \quad (\text{Б.3.6})$$

где D_6 – диаметр верхней части камеры ферритизатора, м;
 d_H – диаметр нижней части камеры ферритизатора, м;
 β – угол конусности конической части камеры.

$$h_H = 0,5 \cdot (0,74 - 0,04) \cdot \text{ctg} \frac{50}{2} = 0,75 \text{ м}$$

Объем конической части ферритизатора:

$$W_\kappa = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot h_H \cdot \left(\left(\frac{D_H}{2} \right)^2 + \left(\frac{d_6}{2} \right)^2 + \left(\frac{D_H}{2} \right) \cdot \left(\frac{d_6}{2} \right) \right), \quad (\text{Б.3.7})$$

где D_6 – диаметр верхней части камеры ферритизатора, м;
 d_H – диаметр нижней части камеры ферритизатора, м;
 h_H – высота конической части ферритизатора, м.

$$W_\kappa = \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot 0,75 \cdot \left(\left(\frac{0,74}{2} \right)^2 + \left(\frac{0,04}{2} \right)^2 + \left(\frac{0,74}{2} \right) \cdot \left(\frac{0,04}{2} \right) \right) = 0,12 \text{ м}^3$$

Определяем объем цилиндрической части ферритизатора:

$$W_B = W_{\kappa.x.} - W_{\kappa}, \quad (\text{Б.3.8})$$

где $W_{\kappa.x.}$ – объем ферритизатора, м^3 ;
 W_{κ} – объем нижней (конической) части камеры ферритизатора, м^3 ;

$$W_B = 0,417 - 0,12 = 0,297 \text{ м}^3,$$

Тогда высота цилиндрической верхней части ферритизатора:

$$h_B = \frac{W_B}{f_{\kappa}}, \quad (\text{Б.3.9})$$

где W_{κ} – объем цилиндрической части ферритизатора, м^3 ;
 f_{κ} – площадь поперечного сечения верхней части камеры ферритизатора, м^2 .

$$h_B = \frac{0,297}{0,63} = 0,47 \text{ м}$$

Потери напора в вихревой камере принимают 0,3 м. вод. ст. на 1 м высоты, следовательно $0,75 \cdot 0,3 = 0,225 \text{ м}$.

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Расчет электролизёра с железными анодами

Часовой расход железа который необходимо ввести в обрабатываемую воду определяется по формуле

$$Q_{Fe} = D_{Fe} \cdot Q_{\text{ч}}, \quad (\text{B.1})$$

где $Q_{\text{ч}}$ – часовой расход сточных вод, м³/ч
 D_{Fe} – удельный расход металлического железа, г/м³

$$Q_{Fe} = 200 \cdot 6,25 = 1250 \text{ г/ч}$$

Сила тока, обеспечивающая растворение железа определяется по формуле

$$J = \frac{Q_{Fe} \cdot 100}{k \cdot \eta}, \quad (\text{B.2})$$

где Q_{Fe} – часовой расход железа, г/ч;
 $k = 1,042$ – электрохимический эквивалент железа, г/А · ч;
 $\eta = 80$ – выход металла по току.

$$J = \frac{1250 \cdot 100}{1,042 \cdot 80} = 1499,5 \text{ А}$$

Рабочая поверхность анодов определяется из условия оптимальной плотности тока:

$$f_a = \frac{J}{i_{am}}, \quad (\text{B.3})$$

где J – сила тока, обеспечивающая растворение железа;
 i_{am} – анодная плотность тока, 150-200 А/м².

$$f_a = \frac{1499,5}{150} = 10 \text{ м}^2$$

Расчетная продолжительность работы электролизера определяется по формуле

$$n_{\text{свт}} = \frac{0,4 \cdot \gamma \cdot \delta \cdot 10^6 \cdot f_a}{q_{\text{свт}} \cdot D_{Fe}}, \quad (\text{B.4})$$

где $q_{\text{сут}}$ – суточный расход сточных вод, м³/сут;
 f_a – рабочая поверхность анодов, м²;
 $D_{\text{Fe}} = 150$ г/м³ – исходя из экспериментальных значений;
 δ – толщина пластины, принимаем 0,006 м;
 $\gamma = 7,86 \text{ т/м}^3$ – удельный вес стали марки Вт-3, т/м³.

$$n_{\text{СУТ}} = \frac{0,4 \cdot 7,86 \cdot 0,006 \cdot 10^6 \cdot 10}{50 \cdot 150} = 47,13 \approx 47 \text{ сут}$$

Необходимая толщина анодов с учетом их износа:

$$\delta = \frac{Q_{\text{сут}} \cdot D_{\text{Fe}^{3+}} \cdot n_{\text{сут}}}{0,4 \cdot \gamma \cdot f_{\text{пл}} \cdot 10^6} = \frac{50 \cdot 190 \cdot 47}{0,4 \cdot 7,86 \cdot 10 \cdot 10^6} = 0,0076 \text{ м}, \quad (\text{B.5})$$

где $Q_{\text{сут}}$ – суточный расход сточных вод, м³/сут;
 $D_{\text{Fe}^{3+}}$ – расход железа;
 $n_{\text{сут}}$ – количество суток, на которое рассчитана работа электродов, сут;
 $\gamma = 7,86 \text{ т/м}^3$ – удельный вес стали марки Вт-3.

Общее количество необходимых анодов определяется по формуле

$$N_a = \frac{f_a}{f_{\text{эл}}}, \quad (\text{B.6})$$

где f_a – рабочая поверхность анодов, м²;

Принимаем размеры пластин электрода в соответствии с конструкцией электролизера, кв.м, $f_{\text{эл}} = 1,005 \text{ м}^2$

$$N_a = \frac{10}{1,005} = 9,9 \approx 10 \text{ шт}$$

Общее количество электродов определяется по формуле

$$N_{\text{эл}} = 2 \cdot N_a + 1, \quad (\text{B.7})$$

где N_a – общее количество анодов, шт.
 $N_{\text{эл}} = 2 \cdot 10 + 1 = 21 \text{ шт.}$

В аппарате в соответствии с конструкцией, общее количество электродов 11, из них 5 анодов и 6 катодов, следовательно, количество аппаратов:

$$n_{\text{анн}} = \frac{n_{\text{эл}}}{11} = \frac{21}{11} = 1,9 \approx 2 \text{ шт}$$

Принимаем 2 рабочих электролизера и 1 резервный. Время работы электролизера: 8 ч. Следует рассчитать габариты электролизера.

Ширина электролизера:

$$B = b + 2a, \quad (B.8)$$

где $a = 0,01\text{ м}$ - расстояние между электродами и корпусом электролизера, м;
 $b = 0,2\text{ м}$ - ширина электрода, м.

$$B = 0,2 + 2 \cdot 0,01 = 0,22\text{ м}$$

Длина электролизера:

$$L = n \cdot \delta + (n - 1) \cdot l + 2a, \quad (B.9)$$

где $l = 0,015\text{ м}$ - расстояние между электродами, м;
 δ - необходимая толщина анодов с учетом их износа, м;
 n - общее количество электродов в аппарате, шт.;
 $a = 0,01\text{ м}$ - расстояние между электродами и корпусом электролизера, м.

$$L = 11 \cdot 0,0076 + (11 - 1) \cdot 0,015 + 2 \cdot 0,01 = 0,3\text{ м}$$

Высота электролизера:

$$H = h_{эл} + a_1 + a_2, \quad (B.10)$$

где $a_1 = 0,15\text{ м}$ - расстояние от электрода до дна, м;
 $a_2 = 0,25\text{ м}$ - расстояние от верха электролизера до поверхности воды, м;
 $h_{эл} = 0,85\text{ м}$ - высота электрода, м.

$$H = 0,85 + 0,15 + 0,25 = 1,25\text{ м}$$

Площадь электролизера:

$$F = L \cdot B, \quad (B.11)$$

где L - длина электролизера, м;
 B - ширина электролизера, м.

$$F = 0,3 \cdot 0,22 = 0,066\text{ м}^2$$

Строительная высота:

$$H_{стр} = H + 0,175, \quad (B.12)$$

где H – высота электролизера, м.

$$H_{стр} = 1,25 + 0,175 = 1,425 \text{ м}$$

Объем воды в электролизере:

$$W = W_г - W_{эл}, \quad (B.13)$$

$$W = (1,25 \cdot 0,22 \cdot 0,3) - (11 \cdot 0,67 \cdot 0,85 \cdot 0,0076) = 0,035 \text{ м}^3$$

Время пребывания ст. воды в электролизёре определяется по формуле

$$t = \frac{W}{Q_u} = \frac{0,035}{3,125} = 0,011 \text{ ч}, \quad (B.14)$$

где Q_u – часовой расход сточных вод на один электролизер, м³/ч;

W – объем воды в электролизере, м³.

Расход железа на один электролизер:

$$Q_{Fe} = \frac{Q_{сут} \cdot C_{en} \cdot q_{Fe}}{1000 \cdot K_{ек}} = \frac{50 \cdot 95 \cdot 1,25}{1000 \cdot 0,8} = 7,42 \text{ кг / сут}, \quad (B.15)$$

где $K_{ек}$ – коэффициент использования материала электродов;

$Q_{сут}$ – суточный расход сточных вод, м³/сут;

C_{en} – исходная концентрация Cr^{6+} , мг/дм³;

Удельный расход электроэнергии:

$$E = \frac{J \cdot U}{Q_u} = \frac{1499,5 \cdot 24}{6,25} = 5758,08 \frac{B \cdot A \cdot ч}{\text{м}^3}, \text{ Г} \quad (B.16)$$

где Q_u – часовой расход сточных вод, м³/ч;

$U = 24 \text{ В}$ - напряжение на клеммах электролизера, В;

$N = 1,5 \text{ кВт}$ - мощность электролизера, кВт.

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Реагентный метод обезвреживания хромсодержащих сточных вод

Г.1 Расчет дозы реагента-восстановителя

Дозу сульфата железа закисного надлежит принимать $D'_{Na_2SO_3} = 9$ мг на 1 мг шестивалентного хрома. Так как концентрация хрома составляет 68,75 мг/дм³, то доза FeSO₄ :

$$D_{Na_2SO_3} = D'_{Na_2SO_3} \cdot C, \quad (Г.1.1)$$

$$D_{Na_2SO_3} = 9 \cdot 68,75 = 618,75 \text{ мг} / \text{дм}^3$$

Для интенсификации процесса коагуляции применяем полиакриламид в дозе $D_{ПАА} = 0,3$ мг/дм³

Рассчитаем производительность мешалки:

$$q_M = \frac{Q_{сут} \cdot D_{ПАА}}{8 \cdot 1000}, \quad (Г.1.2)$$

где $Q_{сут}$ – суточная производительность, м³/сут;
 $D_{ПАА}$ – доза полиакриламида, мг/дм³.

$$q_M = \frac{50 \cdot 0,3}{8 \cdot 1000} = 0,00188 \text{ кг} / \text{ч}$$

Перед подачей обезвреженных сточных вод на отстойник их необходимо нейтрализовать раствором каустической соды NaOH до pH=7,8.

Опытным путем установлено, что для повышения показателя pH на 1 ед, требуется $D_1 = 17$ мг/дм³ раствора NaOH, следовательно, для подщелачивания сточной воды с pH = 4, до 7,8 требуется

$$D_H = (pH - pH_1) \cdot D_1, \quad (Г.1.3)$$

где pH – требуемая pH;
 pH_1 – исходная pH.

$$D_H = (7,8 - 4) \cdot 17 = 64,6 \text{ мг} / \text{дм}^3$$

Вместимость растворного бака определяется по формуле

$$W_p = \frac{Q_{\text{ч}} \cdot n \cdot D_K}{10000 \cdot B_p \cdot \gamma}, \quad (\text{Г.1.4})$$

где $Q_{\text{ч}}$ – часовой расход воды, м³/ч;
 n – время, за которое изготавливают щелочь, ч;
 D_K – доза FeSO₄, мг/дм³;
 B_p – концентрация раствора в растворном баке, В_щ=10%;
 $\gamma_{\text{и}}$ – объемный вес раствора серной кислоты, $\gamma_{\text{и}}$ =1,05 т/м³.

$$W_p = \frac{6,25 \cdot 8 \cdot 618,75}{1000 \cdot 10 \cdot 1,05} = 0,29 \text{ м}^3$$

Высота бака 0,8 м, высота слоя воды в баке 0,5 м.
 Площадь бака:

$$F_1 = \frac{W_p}{h_{\text{сл.в}}} = \frac{0,29}{0,5} = 0,58 \approx 0,6 \text{ м}^2 \quad (\text{Г.1.5})$$

где W_p – вместимость бака, м³.
 $h_{\text{сл.в}}$ – высота слоя воды, м.

Размеры бака: 0,8×0,8×0,8 м
 Емкость расходного бака определяется по формуле

$$W_{\text{расх}} = \frac{W_p \cdot B_p}{5}, \quad (\text{Г.1.6})$$

где W_p – вместимость бака, м³;
 B_p – концентрация раствора коагулянта в расходном баке;

$$W_{\text{расх}} = \frac{0,29 \cdot 10}{5} = 0,58 \text{ м}^3$$

На один растворный бак предусматриваем 2 расходных бака:

$$W_{\text{расм}} = \frac{W_{\text{расх}}}{2}, \quad (\text{Г.1.7})$$

где $W_{\text{расх}}$ – вместимость расходного бака, м³.

$$W_{\text{расм}} = \frac{0,58}{2} = 0,29$$

Площадь бака определяется по формуле

$$F_2 = \frac{W_{расм}}{h_{сл.г}} = \frac{0,29}{0,5} = 0,58 \approx 0,6 \text{ м} \quad (\text{Г.1.8})$$

где $W_{расм}$ – вместимость растворного бака, м^3

Размеры бака: $0,8 \times 0,8 \times 0,8 \text{ м}$

Г.2 Расчет воздухоудвки и воздухопроводов

Общий расход воздуха определяется по формуле

$$Q_B = F_1 \cdot \omega_1 + F_2 \cdot \omega_2, \quad (\text{Г.2.1})$$

где F_1 и F_2 – площади растворных и расходных баков, м^2 ;
 $\omega_1 = 3 \div 10 \text{ л/с} \cdot \text{м}^2$; $\omega_2 = 3 \div 5 \text{ л/с} \cdot \text{м}^2$ – интенсивности подачи воздуха в растворный и расходный баки соответственно, $\text{л/с} \cdot \text{м}^2$.

$$Q_B = 0,6 \cdot 10 + 0,6 \cdot 5 = 9 \text{ л / с} = 0,54 \text{ м}^3 / \text{мин}$$

Находим скорость движения воздуха в трубопроводе:

$$V = \frac{Q}{60(p+1) \cdot 0,785 \cdot d^2}, \quad (\text{Г.2.2})$$

где Q – общий расход воздуха, $\text{м}^3/\text{мин}$;
 p – давление в трубопроводе, равное $1,5 \text{ кгс/с}^2$;
 d – диаметр трубопровода, $0,05 \text{ м}$.

$$V = \frac{0,54}{60(1,5+1) \cdot 0,785 \cdot 0,05^2} = 1,73 \text{ м/с}$$

Определяем вес воздуха, проходящего через трубопровод, кг/ч :

$$G = W \cdot 60 \cdot \gamma, \quad (\text{Г.2.3})$$

где W – общий расход воздуха, $\text{м}^3/\text{мин}$;
 γ – удельный вес воздуха, равный $1,9 \text{ кг/м}^3$.

$$G = 0,54 \cdot 60 \cdot 1,9 = 85,5 \text{ кг / ч}$$

Определяем потери давления воздуха, м :

$$P_1 = \frac{12,5 \cdot \beta \cdot G^2 \cdot l}{\gamma \cdot d^5}, \quad (\text{Г.2.4})$$

где β – коэффициент сопротивления, $\beta=1,2$;
 l – длина трубопровода, $l=20$ м.

$$P_1 = \frac{12,5 \cdot 1,2 \cdot 85,5^2 \cdot 20}{1,9 \cdot 50^5} = 0,004 \text{ м},$$

Потери напора в фасонных частях, мм. вод. ст. составляют:

$$P_2 = 0,063 \cdot V^2 \cdot \sum \zeta, \quad (\text{Г.2.5})$$

где V – скорость движения воздуха в трубопроводе;
 $\sum \zeta$ – сумма коэффициентов местных сопротивлений:

$$\sum \zeta = 1,5 \cdot n \quad (\text{Г.2.6})$$

где n – число колен, равное числу растворных и расходных баков.

$$\sum \zeta = 1,5 \cdot 3 = 4,5$$

$$P_2 = 0,063 \cdot 1,73^2 \cdot 4,5 = 0,85 \text{ мм.вод.ст.}$$

Г.3 Расчет вертикального вихревого смесителя

Площадь горизонтального сечения в верхней части смесителя определяется по формуле

$$f_{\text{г}} = \frac{Q_{\text{г}}}{V_{\text{г}}}, \quad (\text{Г.3.1})$$

где $Q_{\text{г}}$ – расход воды на один реактор, м³/ч;
 $V_{\text{г}} = 90 \div 100$ м/ч – скорость восходящего движения воды, м/ч;

$$f_{\text{г}} = \frac{3,125}{100} = 0,031 \text{ м}^2$$

Сторона квадратной верхней части смесителя определяется по формуле

$$e_{\text{г}} = \sqrt{f_{\text{г}}}, \quad (\text{Г.3.2})$$

где $f_{\text{г}}$ – площадь горизонтального сечения в верхней части смесителя, м².

$$e_{\text{г}} = \sqrt{0,031} = 0,18 \text{ м}$$

Диаметр подводящего трубопровода определяется по формуле

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot q_c}{\pi \cdot V_n}}, \quad (\text{Г.3.3})$$

где q_c – секундный расход воды на один реактор, м³/ч;

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,00087}{3,14 \cdot 1}} = 0,033 \text{ м}$$

Принимаем к проекту ПВХ трубу $d = 50$ мм.

Площадь нижней части смесителя определяется по формуле

$$f_n = D^2, \quad (\text{Г.3.4})$$

$$f_n = (0,050 + 0,0018)^2 = 0,0023 \text{ м}^2$$

Высота нижней части смесителя определяется по формуле

$$h_n = 0,5(e_B - B_H) \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}, \quad (\text{Г.3.5})$$

где $\alpha = 45^\circ$ – величина центрального угла в смесителе;

$B_H = D$, м;

e_B – сторона квадратной верхней части смесителя, м.

$$h_n = 0,5(0,18 - 0,05) \cdot \operatorname{ctg} \frac{45}{2} = 0,14 \text{ м}$$

Объем пирамидальной части смесителя определяется по формуле

$$W_n = \frac{1}{3} h_n (f_B + f_n + \sqrt{f_B \cdot f_n}) = \frac{0,14}{3} (0,031 + 0,0023 + \sqrt{0,031 \cdot 0,0023}) = 0,02 \text{ м}^3 \quad (\text{Г.3.6})$$

где f_B – площадь горизонтального сечения в верхней части смесителя, м²;

f_n – площадь нижней части смесителя, м²;

h_n – высота нижней части смесителя, м.

Полный объем смесителя определяется по формуле

$$W = \frac{Q_u \cdot t}{60}, \quad (\text{Г.3.7})$$

где Q_u – часовой расход сточной воды на один аппарат, м³/ч;
 t – продолжительность смешения, 1,5 мин.

$$W = \frac{3,125 \cdot 1,5}{60} = 0,078 \text{ м}^3$$

Объем верхней части смесителя определяется по формуле

$$W_B = W - W_n, \quad (\text{Г.3.8})$$

где W – полный объем смесителя, м³;
 W_n – объем пирамидальной части смесителя, м³.

$$W_B = 0,078 - 0,02 = 0,058 \text{ м}^3$$

Высота верхней части смесителя определяется по формуле

$$h_B = \frac{W_B}{f_B}, \quad (\text{Г.3.9})$$

где W_B – объем верхней части смесителя, м³;
 f_B – площадь горизонтального сечения в верхней части смесителя, м².

$$h_B = \frac{0,058}{0,031} = 1,87 \text{ м}$$

Полная высота смесителя определяется по формуле

$$h_c = h_n + h_B, \quad (\text{Г.3.10})$$

где h_n, h_B – то же, что и в формуле 5.2.3.5 и 5.2.3.9 соответственно.

$$h_c = 0,14 + 1,87 = 2,01 \text{ м}$$

Сбор воды производится в верхней части смесителя периферийным лотком через затопленные отверстия.

Расход воды в лотке определяется по формуле

$$Q_l = \frac{Q_u}{2}, \quad (\text{Г.3.11})$$

где Q_u – часовой расход сточной воды на один аппарат, м³/ч;

$$Q_{\text{л}} = \frac{3,125}{2} = 1,56 \text{ м}^3 / \text{ч}$$

Площадь живого сечения лотка определяется по формуле

$$\omega_{\text{л}} = \frac{Q_{\text{ч}}}{V_{\text{л}} \cdot 3600}, \quad (\text{Г.3.12})$$

где $Q_{\text{л}}$ – расход сточной воды в лотке, $\text{м}^3/\text{ч}$;
 $V_{\text{л}}$ – скорость движения воды в лотке, $\text{м}/\text{с}$.

$$\omega_{\text{л}} = \frac{1,56}{0,6 \cdot 3600} = 0,0007 \text{ м}^2$$

Высота слоя воды в лотке определяется по формуле

$$h_{\text{л}} = \frac{\omega_{\text{л}}}{B_{\text{л}}}, \quad (\text{Г.3.13})$$

где $\omega_{\text{л}}$ – площадь живого сечения лотка, м^2 ;
 $B_{\text{л}}$ – ширина лотка, м .

$$h_{\text{л}} = \frac{0,0007}{0,27} = 0,003 \text{ м},$$

Площадь затопленных отверстий в стенках лотка определяется по формуле

$$F_{\text{o}} = \frac{Q_{\text{ч}}}{V_{\text{o}} \cdot 3600}, \quad (\text{Г.3.14})$$

где $Q_{\text{ч}}$ – часовой расход сточной воды на один аппарат, $\text{м}^3/\text{ч}$;
 $V_{\text{o}} = 1 \text{ м} / \text{с}$ скорость движения воды через отверстия.

$$F_{\text{o}} = \frac{3,125}{1 \cdot 3600} = 0,0009 \text{ м}^2$$

Площадь одного отверстия определяется по формуле

$$f_{\text{o}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{o}}^2}{4}, \quad (\text{Г.3.15})$$

где d_o – диаметр отверстия, м.

$$f_o = \frac{3,14 \cdot 0,04^2}{4} = 0,0013 \text{ м}^2$$

Количество отверстий определяется по формуле

$$n_o = \frac{F_o}{f_o}, \quad (\text{Г.3.16})$$

где F_o – площадь затопленных отверстий в стенках лотка, м^2 ;
 f_o – площадь одного отверстия, м^2 .

$$n_o = \frac{0,0009}{0,0013} = 0,7 = 1 \text{ шт.}$$

Учитывая, что в технологической схеме присутствует отстойник, необходимо определить количество воды, теряемое при сбросе осадка:

$$q_{oc} = \frac{K_p \cdot (C - m)}{\delta_{cp}} \cdot 100\%, \quad (\text{Г.3.17})$$

где $K_p = 1,2 \div 1,5$ – коэффициент взвеси в воде после;
 δ_{cp} – концентрация взвешенных веществ, г/м^3 ;
 m – количество взвеси в воде, выходящей после обработки в осветлителе, мг/л .

$$q_{oc} = \frac{1,2 \cdot (96 - 10)}{15000} \cdot 100\% = 0,7 \%$$

В таблице Г.3.1 приведены расчетные расходы сточной жидкости хромсодержащих сточных вод после обработки в отстойнике.

Таблица В.1 – Расчетные расходы сточных вод после отстойника

Вид сточных вод	$Q_{\text{сут}}, \text{ м}^3/\text{сут}$	$Q_{\text{ч}}, \text{ м}^3/\text{ч}$	$Q_{\text{сек}}, \text{ м}^3/\text{с}$
Хромстоки	49,65	6,21	0,0017

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Автоматизация и управление процессами очистки сточных вод

На современном этапе развития техники водообработки невозможно представить управление системами водоснабжения и водоотведения без их автоматизации.

Под автоматизацией (автоматическим управлением) понимается осуществление какого-либо технологического процесса с использованием соответствующих технических средств без непосредственного участия человека [78].

Высокая производительность оборудования, скорости потоков и физико-химических превращений, большие объемы аппаратов и сооружений, зависимость технико-экономических показателей от большого числа разнообразных факторов — все это предъявляет высокие требования к управлению СБВ.

В настоящий период созданы и успешно внедрены системы как: автоматизация процессов флотации, коагуляции, отстаивания, обеззараживания, а также, автоматизация водоприемных сооружений.

Благодаря непрерывному анализу работы насосных станций и очистных сооружений поддерживаются экономически наиболее выгодные технологические режимы работы и вырабатываются необходимые команды управления.

Поэтому одной из первичных задач повышения эффективности автоматизации была и остается разработка простых, надежных и высокоточных средств автоматического контроля состава сточных вод, а также качества их обработки.

Внедрение последних разработок и технологий позволяет в значительной степени увеличить конкурентоспособность производства и облегчить труд. Также САУ дает:

- снижение расхода энергоресурсов
 - уменьшение количества обслуживающего персонала (экономией на заработной плате)
 - повышение производительности (уменьшение размера заработной платы в расчете на единицу продукции)
 - повышение надежности функционирования технологического процесса (снижением ущерба от перерывов технологического процесса)
 - повышение качества продукции и другими факторами, зависящими от вида автоматизируемого технологического процесса
 - повышение эффективности производства
 - снижение брака продукции
 - уменьшение стоимости продукта
 - создание продуктивной системы контроля над качеством продукции
- [79].

Д.1 Основные понятия автоматизации

В общем случае под автоматизацией понимают применение определенных технических средств и систем управления, позволяющих полностью либо частично освободить человека от непосредственного участия в процессах получения, преобразования, передачи или использования энергии, материалов или информации.

Целью автоматизации является повышение производительности и эффективности труда, улучшение качества продукции, а также устранение человека от работы в опасных для здоровья условиях.

Под управлением в технических системах понимают совокупность действий, отобранных на основе определенной информации и направленных на поддержание заданных параметров производственного процесса и заданных режимов эксплуатации технологического оборудования или направленных на улучшение функционирования технологического объекта в соответствии с имеющейся программой или целью функционирования.

В приведенных определениях содержатся два дополнительных понятия: система и процесс.

Под системой принято понимать целенаправленную совокупность элементов, способствующих достижению заданного определенного полезного результата.

Под технологическим процессом понимают такую обработку воды и полуфабрикатов (промежуточных потоков, осадков), которая приводит к изменению их физического и химического состояния и превращению в требуемую конечную продукцию.

Иными словами, технологический процесс в – это совокупность механических, физико-химических, биологических и других процессов направленной на обработку воды и ее побочных продуктов.

Практически все современные производственные процессы должны подкрепляться определенными инструкциями, строительными нормами и правилами. Каждый технологический процесс характеризуется определенными технологическими параметрами, которые могут изменяться во времени. В СВВ такими параметрами являются расходы материальных и энергетических потоков, химический состав, температура, давление, уровень в емкостях и др. Совокупность технологических параметров, полностью характеризующих конкретный технологический процесс, называется технологическим режимом.

Любой технологический процесс в СВВ подвержен действию различных факторов, которые нельзя предусмотреть заранее. Такие факторы называются возмущениями. К ним относятся, например, случайные изменения состава обрабатываемой воды, температуры, характеристик оборудования. Возмущающие воздействия на технологический процесс вызывают изменения технологического режима, что, в свою очередь, приводит к изменению таких параметров процесса, как производительность, качество обработки, расход реагентов и электроэнергии. Поэтому для обеспечения требуемых (заданных) параметров необходимо компенсировать колебания технологического режима,

вызванные действием возмущений. Такое целенаправленное воздействие на технологический процесс представляет собой процесс управления.

Совокупность требований, осуществляемых в процессе управления, называется целью управления.

Сам управляемый технологический процесс вместе с оборудованием, в котором он реализуется, является объектом управления. Объект управления и все устройства, необходимые для осуществления процесса управления, называются системой управления.

Таким образом, можно сделать вывод, что система управления – это не что иное, как совокупность технологического процесса, оборудования, средств контроля и управления.

Д.2 Схема управления и автоматическая защита электродвигателя

Устройства автоматической защиты предназначены для предотвращения аварий в зданиях, где изменение условий работы инженерных систем может привести к возникновению аварийной ситуации. Устройства автоматической защиты в подобных системах должны мгновенно реагировать на малейшие изменения нормального режима.

В качестве защитных мероприятий обычно выступают: снижение давления, включение резервных насосов, отключение подачи топлива.

Однако стоит отметить, поскольку последующие пуско-наладочные работы инженерной системы задача сложная и трудоемкая, то необходимо исключить возможность ложного срабатывания устройств автоматической защиты. Это достигается путем установки двух отдельных устройств защиты, способных реагировать на один и тот же признак опасности. Устройства защиты соединены так, чтобы исполнительный механизм защитного устройства включался только при одновременном их срабатывании.

Примером системы автоматической защиты может служить схема управления электродвигателем, представленная на рисунке 8.2.1.

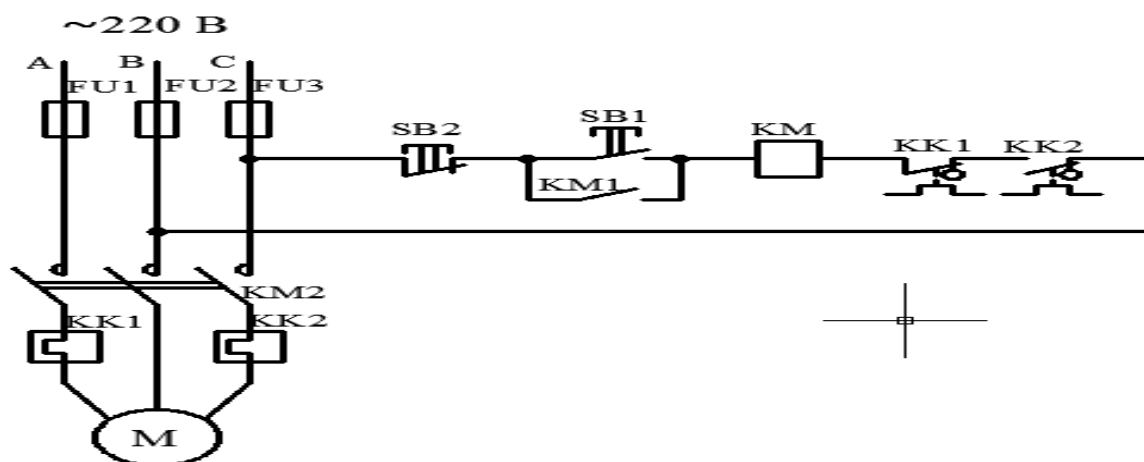


Рисунок Д.2.1 – Схема управления электродвигателем

Схема, приведенная на рисунке Д.2.1, функционирует следующим образом: при включении пусковой кнопки SB1 замыкается цепь питания обмотки магнитного пускателя КМ. Своими силовыми контактами КМ2 магнитный пускатель включает электродвигатель, а блок-контактом КМ1 шунтирует пусковую кнопку.

После этого кнопку можно отпустить, а цепь питания обмотки магнитного пускателя останется замкнутой через его блок-контакт КМ1. Отключают двигатель нажатием кнопки «Стоп» SB2. При этом разрывается цепь питания обмотки пускателя и размыкаются его контакты КМ1 и КМ2. После отпускания кнопки SB2 обмотка магнитного пускателя остается обесточенной. В этой схеме предусмотрено действие защиты в трех возможных аварийных ситуациях: при исчезновении напряжения в сети, при перегрузках и при коротких замыканиях.

При исчезновении напряжения в сети, например при отключении подачи электроэнергии, происходят отключение магнитного пускателя и остановка электродвигателя. Блок-контакт КМ1 обеспечивает защиту электродвигателя от самопроизвольного повторного включения при возобновлении подачи электроэнергии. Повторный пуск двигателя возможен только после нажатия пусковой кнопки SB1. Защита электродвигателя от перегрузок осуществляется тепловыми реле КК1 и КК2, нагревательные элементы которых включены в две фазы питания электродвигателя, а размыкающие контакты — в цепь питания обмотки магнитного пускателя. Для нового пуска электродвигателя, отключенного тепловым реле, необходимо сначала вручную нажать кнопку, замыкающую контакты теплового реле. Защита электродвигателя и цепи магнитного пускателя от коротких замыканий выполняется предохранителями FU1, FU2 и FU3.

Д.2.1 Энергосбережение в насосных установках

Уменьшить расход электроэнергии в насосных агрегатах возможно посредством регулирования частоты вращения (числа оборотов в минуту) насосов в функции расхода воды.

Частота переменного напряжения в электрических сетях энергосистем России постоянна и равна 50Гц, что достаточно для вращения электродвигателей насосов с номинальной частотой n (об/мин).

При необходимости изменить частоту переменного напряжения, подводимого к электродвигателю насоса, следует подключить электродвигатель к индивидуальному преобразователю частоты, присоединенному в свою очередь к электрической сети с частотой переменного напряжения $f=50\text{Гц}$ [79].

В зависимости от величины сигнала управления, поступающего от соответствующего датчика на вход преобразователя частоты, частота переменного напряжения на выходе может изменяться в интервале 5-50 Гц, что обеспечивает возможность десятикратного уменьшения частоты вращения насосного агрегата. Функциональная схема автоматического регулирования

частоты вращения насосного агрегата, работающего на сеть водоснабжения, представлена на рисунке В.2.1.1, а для откачивающего насосного агрегата на рисунке В.2.1.1.

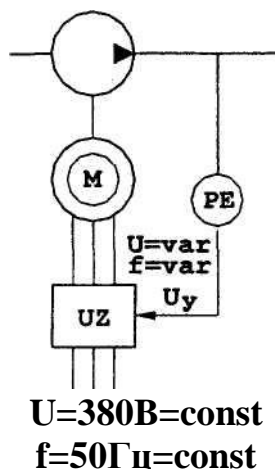


Рисунок Д.2.1.1 – Функциональная схема регулирования скорости вращения сетевого насоса.

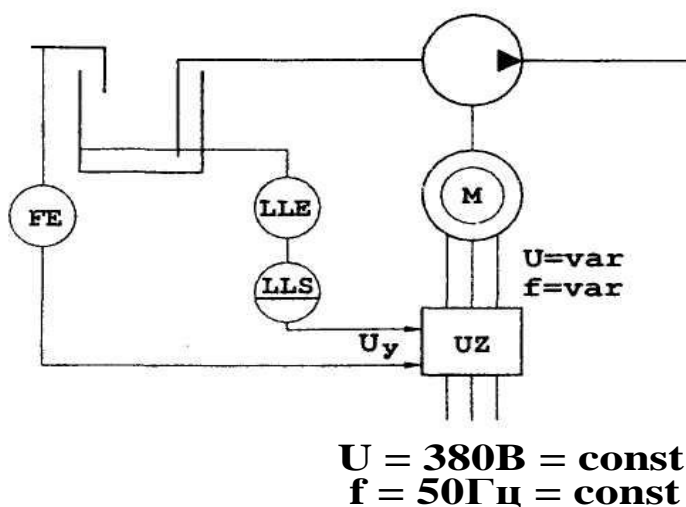


Рисунок Д.2.1.2 – Функциональная схема регулирования скорости вращения откачивающего насоса.

Откачивающие насосные агрегаты подают постоянное количество воды, равное на всем промежутке рабочего цикла. Включение и выключение происходит автоматически, в зависимости от уровня жидкости в резервуаре.

Производительность насоса определяют максимальным притоком воды в приемный резервуар в течение часа. Если в течении определенного промежутка времени приток меньше максимального, то посредством преобразователя частоты можно снизить частоту вращения насоса до значения, при котором подача насоса будет равна значению притока.

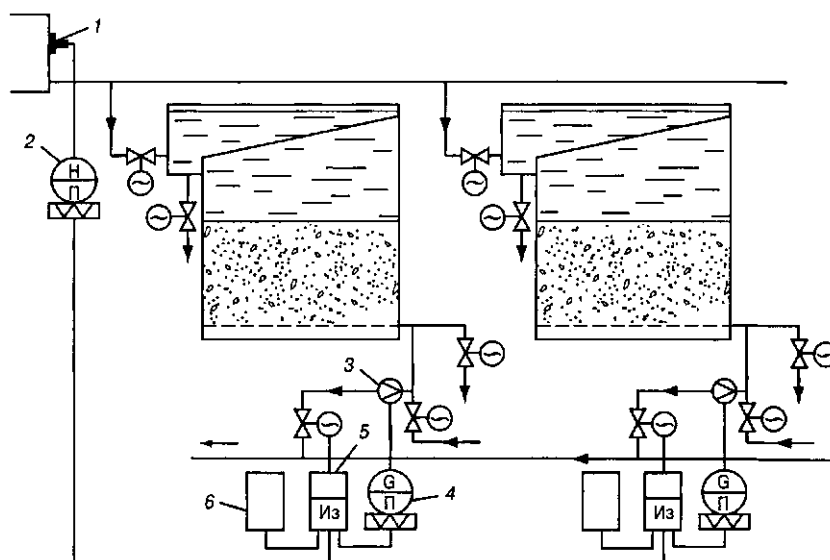
При автоматическом регулировании подача насоса в функции значения притоков приемный резервуар, несмотря на непрерывность работы насоса, за

счет уменьшения развиваемого им напора, потребление электроэнергии электродвигателем насоса уменьшается по сравнению с вариантом периодической работы насоса с неизменной частотой вращения.

Д.3 Автоматизация процессов фильтрации воды

Для удаления из воды мелкодисперсных и коллоидных частиц, не задержанных в отстойниках, в разработанных технологических схемах использованы скорые фильтры с инертной зернистой загрузкой. Рабочие циклы (фильтрование) периодически прерываются для восстановления фильтрующей способности загрузки путем промывки чистой водой.

Схема АСР производительности фильтра с автоматическим задатчиком реализует зависимость скорости фильтрования от уровня в подводящем коллекторе. Система применяется только в тех случаях, когда между фильтрами имеется гидравлическая связь.



1 – датчик уровня в резервуаре исходной воды; 2 – дифманометр уровнемера; 3 – сужающее устройство расходомера; 4 – расходомер; 5 – регулятор; 6 – задатчик.

Рисунок Д.3.1 – Схема АСР производительности фильтров по притоку воды на станцию

Для восстановления фильтрующей способности фильтра, необходимо в определенной последовательности провести ряд операций: отключение фильтра от общей магистрали (0,5-1 мин); включение промывных насосов (напорного резервуара), процесс промывки 5-10 мин; спуск первого фильтрата после промывки (3-5 мин); включение фильтра в рабочий цикл (1-2 мин).

Выполнение перечисленных операций связано с открытием и закрытием пяти-шести задвижек на каждом фильтре, включением и отключением

промывных насосов. При большом числе фильтров организация выполнения этих операций возможна только при дистанционном управлении.

По этой причине задача автоматизации фильтров заключается не только в скором и надежном управлении переключением операций, но и в достижении максимальной продолжительности фильтроцикла.

Д.4 Корректировка pH

Системы регулирования pH можно разделить на два типа в зависимости от требуемой точности регулирования.

Если скорость изменения величины pH невелика, а допустимые пределы ее колебаний достаточно широки, применяют позиционные АСР, поддерживающие pH в заданных пределах: $pH_n \leq pH \leq pH_v$.

Ко второму типу относятся системы, обеспечивающие регулирование процессов, в которых требуется точное поддержание pH на заданном уровне. Для их регулирования используют непрерывные ПИ или ПИД- регуляторы.

Нелинейность статических характеристик – это общая особенность объектов при регулировании pH. Она связана с нелинейной зависимостью pH от расходов реагентов.

На рисунке В.7.1 представлена кривая титрования. Кривая титрования характеризует зависимость водородного показателя от расхода реагента, обозначенного G.

Анализируя кривую, можно выделить три характерных участка. Первый (средний), относящийся к почти нейтральным средам, он близок к линейному и характеризуется очень большим коэффициентом усиления. Второй и третий участки, относящиеся к сильнощелочным или кислым средам, обладают значительной кривизной.

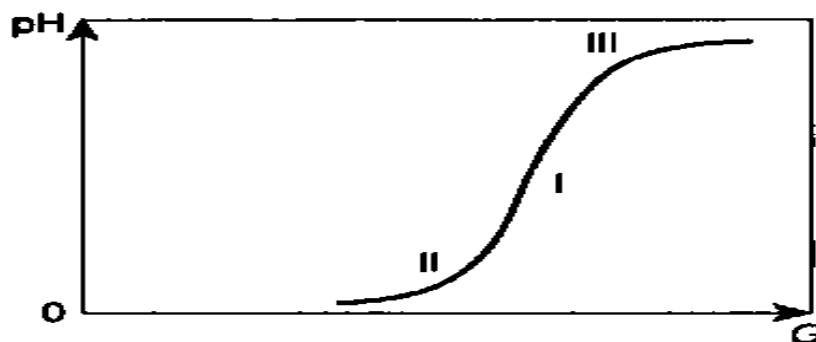


Рисунок Д.4.1 – Зависимость величины pH от расхода реагента

На первом участке объект по своей характеристике приближается к релейному элементу. Для обеспечения устойчивого регулирования применяют специальные системы. На рисунке В.4.2 показан пример автоматической схемы регулирования с двумя регулирующими клапанами.

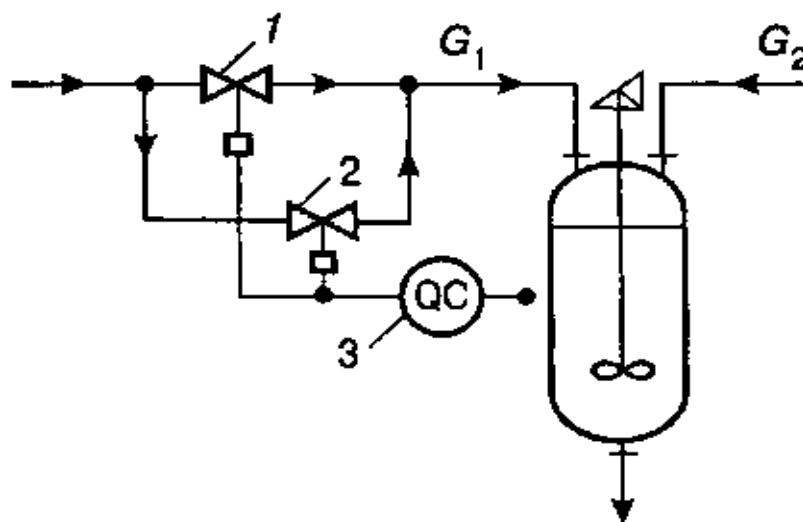


Рисунок Д.4.2 – Схема системы регулирования pH: 1,2 — регулирующие клапаны; 3 — измеритель pH

Схема, приведенная на рисунке В.4.2, функционирует следующим образом: клапан 1, обладающий большим условным диаметром, служит для грубого регулирования расхода и настроен на максимальный диапазон изменения выходного сигнала регулятора ($X_{p.n}$, $X_{p.v}$). Этому диапазону соответствует кривая 1 на рисунке В.4.3.

Клапан 2, служащий для точного регулирования, рассчитан на меньшую пропускную способность и настроен таким образом, что при $X_p = X_p^0 + \Delta$ он полностью открыт, а при $X_p = X_p^0 - \Delta$ — закрыт до упора. Этому диапазону соответствует кривая 2 рисунка 5.4.3.

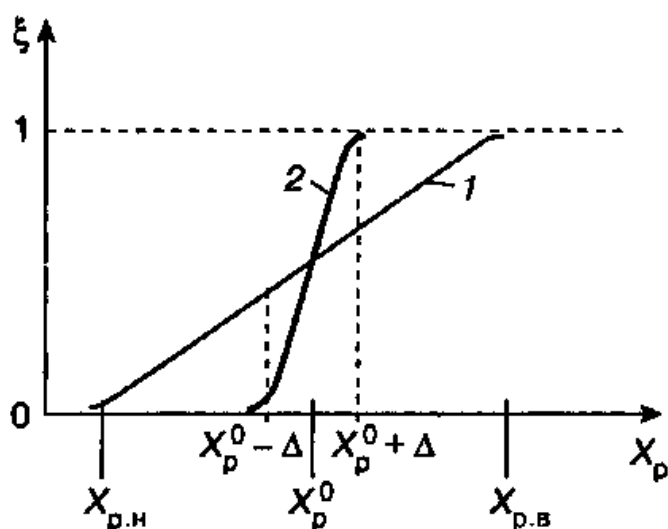


Рисунок Д.4.3 –Статические характеристики клапанов

Таким образом, при незначительном отклонении pH от pH^0 , когда $(X_p^0 - \Delta) \leq X_p \leq (X_p^0 + \Delta)$, степень открытия клапана 1 практически не изменяется и регулирование ведется клапаном 2.

В том случае, если $|X_p - X_p^0| > \Delta$, клапан 2 остается в крайнем положении и регулирование осуществляется клапаном 1.

На втором и третьем участках характеристики (рисунок 5.4.3) ее линейная аппроксимация справедлива лишь в очень узком диапазоне изменения рН, и в реальных условиях ошибка регулирования за счет линеаризации может оказаться недопустимо большой.

В этом случае более точные результаты дает кусочно-линейная аппроксимация, при которой линеаризованный объект имеет переменный коэффициент усиления, а АСР должна быть дополнена еще одним регулятором. В зависимости от рассогласования ΔpH в работу включается один из регуляторов, настроенный на соответствующий коэффициент усиления.

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Технико-экономический расчет

Е.1 Расчет капитальных вложений

В результате технико-экономического сравнения вариантов выбирается наиболее оптимальный вариант технологической схемы очистки сточных вод.

Выбор более экономического варианта происходит на основе сравнения суммарно-денежных потоков нескольких вариантов:

- технологическая схема очистки сточной воды от ионов хрома шестивалентного с применением гальванокоагуляционной очистки;
- технологическая схема очистки сточной воды от ионов Cr^{6+} с применением электрокоагуляции;
- технологическая схема очистки сточной воды от ионов Cr^{6+} с применением реагентной очистки.

В таблицу Е.1.1 записываем потребность в капитальных вложениях на реализацию различных инвестиционных проектов системы очистки сточных вод производительностью 50 м³/сут.

Показатели сравнительной экономической эффективности капитальных вложений каждого варианта является минимум приведенных затрат.

Таблица Е.1.1– Объектная смета на строительство очистных сооружений

№	Наименование оборудования	Стоимость ед. оборудования, тыс. руб.	Инвестиционные проекты					
			вариант 1		вариант 2		вариант 3	
			количество	стоимость тыс. руб.	количество	стоимость, тыс. руб.	количество	стоимость, тыс. руб.
1	Резервуар-усреднитель W=25,04 м ³	54,55	1	54,55	1	54,55	1	54,55
2	Фильтр-грязевик	22	2	44	2	44	-	-
3	Насос ВКС 2/26	22,1	6	132,6	6	132,6	6	132,6
4	Воздуходувка ВК-1,5 М1	50	2	100	2	100	2	100
5	Гальванокоагулятор	10,34	3	31,03	-	-	-	-
6	Ферритизатор	5,49	2	10,98	2	10,98	-	-
7	Емкость для приготовления H ₂ SO ₄ W=1,8 м ²	2,58	1	2,58	1	2,58	-	-
8	Насос-дозатор кислоты НД 0,1-63 К14	21,0	2	42,0	2	42,0	-	-
9	Емкость для приготовления NaOH W=0,24 м ²	0,96	1	0,96	1	0,96	-	-
10	Насос для перекачки осадка из отстойника	35	2	70	2	70	2	70

Окончание таблицы Е.1.1

№	Наименование оборудования	Стоимость ед. оборудования, тыс. руб.	Инвестиционные проекты					
			вариант 1		вариант 2		вариант 3	
			количество	стоимость тыс. руб.	количество	стоимость, тыс. руб.	количество	стоимость, тыс. руб.
11	Вертикальный отстойник с КХО, оборудованный тонкослойными модулями	57,72	1	57,72	1	57,72	1	57,72
12	Скорый фильтр с зернистой загрузкой	11,91	3	35,73	3	35,73	3	35,73
13	Насос для промывки фильтров	22,0	2	44,0	2	44,0	2	44,0
14	РЧВ W=21,33м ³	72,73	1	72,73	1	72,73	1	72,73
15	Шламоуплотнитель	30,73	1	30,73	1	30,73	1	30,73
16	Фильтр-пресс	30,0	1	30,0	1	30	1	30
17	Тонкослойный отстойник для промывных вод ФЗ	38,46	1	38,46	1	38,46	1	38,46
18	Электролизер	3,77	-	-	3	11,31	-	-
19	Вертикальный вихревой смеситель W=0,078 м ³	5,49	-	-	-	-	2	10,98
20	Расходный бак NaOH W=0,58 м ³	5,819	-	-	-	-	2	11,638
21	Растворный бак NaOH W=0,29 м ³	5,819	-	-	-	-	1	5,819
22	Емкость для приготовления NaOH W=0,065м ²	1,364	-	-			1	1,364
23	Насос-дозатор NaOH НД 0,1-63 К14	21,0	2	42,0	2	42,0	2	42,0
24	Насос-дозатор FeSO ₄ НД 0,1-63 К14	21,0	-	-	-	-	2	42,0
25	Резервуар чистой промывной воды	104,4	1	104,4	1	104,4	1	104,4
26	Установка ультрафильтрации «Аквафлоу»	150,0	1	150,0	1	150,0	1	150,0
27	Воздуходувка ВК-0,75	-	-	-	-	-	2	48,26
28	Резервуар глубоководной очистки воды W=6,21м ²	26,18	1	26,18	1	26,18	1	26,18
30	Насос перекачки осадка на фильтр-пресс	25	2	50	2	50	2	50
Итого				983,4486		963,7086		977,4596

Е.2 Расчет годовых эксплуатационных затрат

Годовые эксплуатационные затраты складываются по отдельным элементам годовых затрат по формуле:

$$\mathcal{E} = C_p + C_{з/пл} + C_{эл} + C_A + C_B + C_{ТР} + C_{ПР} + C_T, \quad (\text{Е.2.1})$$

где C_p – стоимость реагентов и других строительных материалов, тыс. руб./год;

$C_{з/пл}$ – заработная плата обслуживающего персонала с отчислениями на социальное страхование, тыс. руб./год;

$C_{эл}$ – стоимость электроэнергии, тыс. руб./год;

C_A – амортизационные отчисления, тыс. руб./год;

C_B – стоимость воды, использованной на собственные нужды, тыс. руб./год;

$C_{ТР}$ – затраты на текущий ремонт, тыс. руб./год;

$C_{ПР}$ – прочие затраты, тыс. руб./год;

C_T – стоимость тепловой энергии, тыс. руб./год.

Расходы на заработную плату обслуживающего персонала очистных сооружений фонд заработной платы труда с учетом всех социальных отчислений для каждого из вариантов составит:

$$C_{з/пл} = 12 \cdot Z_{мс} \cdot N \cdot K_c \cdot K_p, \quad (\text{Е.2.2})$$

где K_p – районный коэффициент, 1,6;

K_c – коэффициент отчислений от суммы заработной платы, 1,13;

$Ч$ – число рабочих, чел.

$$C_{з/пл} = 12 \cdot 12,0 \cdot 1 \cdot 1,13 \cdot 1,6 = 260,352 \text{ тыс. руб.}$$

Таблица Е.2.1 – Потребляемая мощность оборудованием очистных сооружений

Наименование оборудования	Номинальная мощность кВт	Вариант 1		Вариант 2		Вариант 3	
		Кол иче ств о	Мощность, кВт	Кол иче ств о	Мощность, кВт	Кол иче ств о	Мощность, кВт
Электролизер	3,5	2		-	-	-	-
Гальванокоагулятор	0,5	-	-	3	1,5	-	-
Насос ВКС 2/21	1,53	3	4,6	3	4,6	3	4,6
Насос-дозатор для кислоты	1,8	1	1,8	1	1,8	-	-
Насос-дозатор для щелочи	1,8	1	1,8	1	1,8	1	1,8
Насос-дозатор реагента	1,6	-	-	-	-	1	1,6

Окончание таблицы Е.2.1

Наименование оборудования	Номинальная мощность кВт/ч	Вариант 1		Вариант 2		Вариант 3	
		кол иче ств о	мощность, кВт	кол иче ств о	мощность, кВт	кол иче ств о	мощность, кВт
Насосы для промывки ФЗ	3	1	3	1	3	1	3
Насос для перекачки осадка	1,4	2	2,8	2	2,8	2	2,8
Воздуходувка ВК-1,5М	5,5	1	5,5	1	5,5	1	5,5
Воздуходувка ВК-0,75	3	-	-	-	-	3	9
Мешалка для приготовления NaOH	0,2	1	0,2	1	0,2	-	-
Мешалка для приготовления NaOH	0,1	-	-	-	-	2	0,1
Мешалка для приготовления H ₂ SO ₄	0,2	1	0,2	1	0,2	-	-
Насос подачи осадка на фильтр-пресс	1,2	1	1,2	1	1,2	1	1,2
Фильтр-пресс	0,75	1	0,75	1	0,75	1	0,75
		Σ	21,85		23,35		30,35

Установленная мощность:

$$N = \frac{P \cdot K_0 \cdot \sum N}{\cos \varphi}, \quad (\text{Е.2.3})$$

где P – коэффициент, учитывающий трансформаторный резерв, 1,5;
 K_0 – коэффициент, учитывающий электросветильную нагрузку, $K_0=1,05$
 N – суммарная мощность работающих электродвигателей, кВт/ч;
 $\cos \varphi$ – коэффициент мощности электродвигателя, 0,9.

$$N_1 = \frac{1,5 \cdot 1,05 \cdot 21,85}{0,9} = 38,24 \text{ кВт} / \text{ч},$$

$$N_2 = \frac{1,5 \cdot 1,05 \cdot 23,35}{0,9} = 40,86 \text{ кВт} / \text{ч},$$

$$N_3 = \frac{1,5 \cdot 1,05 \cdot 30,35}{0,9} = 53,11 \text{ кВт} / \text{ч}$$

Так как полученные значения меньше 750 кВт, то в дальнейшем расчете принимаем одноставочный тариф.

Количество активной энергии (тыс. кВт) определяем по формуле

$$\sum W = N \cdot T, \quad (E.2.4)$$

где T – число часов работы агрегатов в течение года, 260 дней, 8 часов.

$$\sum W_1 = 38,24 \cdot 260 \cdot 8 = 79,5392 \text{ тыс. кВт} \cdot \text{ч} / \text{год}$$

$$\sum W_2 = 40,86 \cdot 260 \cdot 8 = 84,99 \text{ тыс. кВт} \cdot \text{ч} / \text{год}$$

$$\sum W_3 = 53,11 \cdot 260 \cdot 8 = 110,469 \text{ тыс. кВт} \cdot \text{ч} / \text{год}$$

Затраты на электроэнергию определяются по формуле:

$$C_{эл/эн} = \sum W \cdot T_i, \quad (E.2.5)$$

где T_i – тариф на электроэнергию одноставочный, руб./кВт·ч;

$\sum W$ – количество активной электроэнергии, тыс. кВт.

$$C_{эл/эн}^1 = 79,5392 \cdot 2,47 = 196,44 \text{ тыс. руб} / \text{год},$$

$$C_{эл/эн}^2 = 84,99 \cdot 2,47 = 209,92 \text{ тыс. руб} / \text{год},$$

$$C_{эл/эн}^3 = 110,469 \cdot 2,47 = 272,86 \text{ тыс. руб} / \text{год},$$

Расчеты электроэнергии сведены в таблицу 4.2.2.

Таблица Е.2.2 – Расчеты электроэнергии

Номер варианта	Установленная мощность, кВт/ч	Годовое потребление, тыс. кВт/год	Стоимость электроэнергии, тыс. руб./год
1	38,24	79,539	196,44
2	40,86	84,99	209,92
3	53,11	110,469	272,86

Для определения затрат на теплообеспечение, принимаем 30% стоимости электроэнергии:

$$C_T^i = 0,3 \cdot C_{эл/эн}, \quad (E.2.6)$$

где $C_{эл/эн}$ – годовые затраты на электроэнергию, тыс. руб./год.

$$C_m^1 = 0,3 \cdot 196,44 = 58,93 \text{ тыс. руб} / \text{год},$$

$$C_m^2 = 0,3 \cdot 209,92 = 62,98 \text{ тыс. руб} / \text{год},$$

$$C_m^{3,4} = 0,3 \cdot 272,86 = 81,86 \text{ тыс. руб. / год}$$

Затраты на текущий ремонт составляют 1% от сметной стоимости сооружений:

$$C_{mp} = 0,01 \cdot C_{C.C.}, \quad (\text{E.2.7})$$

где $C_{C.C.}$ – сметная стоимость сооружений, тыс. руб./год.

$$C_{TP}^1 = 0,01 \cdot 983,4486 = 9,83 \text{ тыс. руб. / год},$$

$$C_{TP}^2 = 0,01 \cdot 963,7086 = 9,64 \text{ тыс. руб. / год},$$

$$C_{TP}^3 = 0,01 \cdot 977,4596 = 9,77 \text{ тыс. руб. / год},$$

В стоимости услуг водоснабжения и водоотведения учитываются затраты по стоимости воды на хоз-питьевые и технические нужды.

Годовое потребление воды обслуживающим персоналом составляет:

$$N_{год} = N_{\text{ч}} \cdot 260 \cdot q, \quad (\text{E.2.8})$$

где $N_{\text{ч}}$ – численность работающих, чел;

q – удельная норма водопотребления на 1 человека, л/сут.

$$N_{год}^{1,2,3} = 1 \cdot 260 \cdot 25 = 6500 \text{ л / год} = 6,5 \text{ м}^3 / \text{год}$$

Стоимость услуг водоснабжения:

$$C_{\text{в}} = N_{год} \cdot T_{\text{в}}, \quad (\text{E.2.9})$$

где $N_{год}$ – годовое потребление воды обслуживающим персоналом, м³/год;

$T_{\text{в}}$ – тариф на питьевую воду, руб./м³.

$$C_{\text{в}} = 6,5 \cdot 13 = 0,084 \text{ тыс. руб. / год}$$

Стоимость услуг водоотведения:

$$C_{\text{о}} = N_{год} \cdot T_{\text{о}}, \quad (\text{E.2.10})$$

где $N_{год}$ – годовое потребление воды обслуживающим персоналом, м³/год;

$T_{\text{о}}$ – тариф на услуги канализования, руб./м³.

$$C_{\epsilon} = 6,5 \cdot 8,45 = 0,054 \text{ тыс. руб. / год}$$

Суммарная стоимость услуг водоснабжения и водоотведения:

$$C_{BuB} = C_{\epsilon} \cdot C_{\epsilon}, \quad (\text{E.2.11})$$

где C_{ϵ} , C_{ϵ} – стоимость услуг водоснабжения и водоотведения соответственно, тыс. руб./год;

$$C_{BuB} = 0,084 + 0,054 = 0,138 \text{ тыс. руб. / год}$$

Затраты на амортизацию составляют 20% от сметной стоимости сооружений:

$$C_{mp} = 0,2 \cdot C_{C.C.}, \quad (\text{E.2.12})$$

где $C_{C.C.}$ – сметная стоимость сооружений, тыс. руб./год.

$$C_{AM}^1 = 0,2 \cdot 983,4486 = 196,69 \text{ тыс. руб. / год},$$

$$C_{AM}^2 = 0,2 \cdot 963,7086 = 192,74 \text{ тыс. руб. / год},$$

$$C_{AM}^3 = 0,2 \cdot 977,4596 = 195,49 \text{ тыс. руб. / год}$$

Прочие затраты составляют 20% от суммы амортизационных отчислений и заработной платы, тыс. руб.:

$$C_{IP}^i = 0,2 \cdot (C_{AM} + C_{3/П}), \quad (\text{E.2.13})$$

где $C_{ам}$ – затраты на амортизацию, тыс. руб./год;

$C_{3/пл}$ – затраты на оплату труда рабочих, тыс. руб./год.

$$C_{np}^1 = 0,2 \cdot (196,69 + 260,352) = 91,41 \text{ тыс. руб. / год},$$

$$C_{np}^2 = 0,2 \cdot (192,74 + 260,352) = 90,62 \text{ тыс. руб. / год},$$

$$C_{np}^2 = 0,2 \cdot (195,49 + 260,352) = 91,17 \text{ тыс. руб. / год}$$

При расчете стоимости реагентов и материалов (таблица 4.4) учитываются затраты на основные материалы, используемые при эксплуатации сооружений для очистки сточных вод.

Таблица Е.2.3 – Расчет стоимости реагентов и материалов

№	Наименование	Количество, т/год	Стоимость 1т, тыс.	Общие затраты, тыс. руб/год
вариант 1				
1	Серная кислота H ₂ SO ₄	0,416	20,3	8,45
2	Щелочь NaOH	1,66	30,0	49,8
3	Углеродминеральный сорбент	0,023	23,0	0,529
4	ПАА	0,0039	250,0	0,975
5	Гранодиоритовый песок	1,53	2,5	3,825
Σ				63,579
вариант 2				
1	Серная кислота H ₂ SO ₄	0,416	20,3	8,45
2	Щелочь NaOH	1,66	30,0	49,8
3	Сталь 3	1,29	36,0	46,44
4	ПАА	0,0039	250,0	0,975
5	Гранодиоритовый песок	1,53	2,5	3,825
Σ				109,49
вариант 3				
1	Сульфат железа FeSO ₄	8,04	15,0	120,6
2	Щелочь NaOH	1,66	30,0	46,8
4	ПАА	0,0039	250,0	0,975
3	Гранодиоритовый песок	1,53	2,5	3,825
Σ				172,2

На основании вышеприведенных расчетов эксплуатационные затраты по каждому из вариантов, рассчитанные по формуле (4.2.1) будут составлять:

$$\mathcal{E}^1 = 63,579 + 260,352 + 196,44 + 196,69 + 0,138 + 9,83 + 91,41 + 58,93 = 877,37 \text{ тыс. руб. / год},$$

$$\mathcal{E}^2 = 109,49 + 260,352 + 209,92 + 192,74 + 0,138 + 9,64 + 90,62 + 62,98 = 935,88 \text{ тыс. руб. / год},$$

$$\mathcal{E}^3 = 172,2 + 260,352 + 272,86 + 195,49 + 0,138 + 9,77 + 91,17 + 81,86 = 1083,84 \text{ тыс. руб. / год}$$

Приведенные затраты, тыс. руб./год:

$$П_i = E \cdot C_c + \mathcal{E}, \quad (\text{Е.2.14})$$

где E – абсолютный показатель экономической эффективности капитальных вложений, 0,18;

C_c – сметная стоимость сооружений, тыс. руб./год;

\mathcal{E} – эксплуатационные затраты, тыс. руб.

$$П_1 = 0,18 \cdot 983,4486 + 771,9 = 948,92 \text{ тыс. руб.},$$

$$П_1 = 0,18 \cdot 963,7086 + 823,201 = 966,67 \text{ тыс. руб.},$$

$$\Pi_1 = 0,18 \cdot 977,4596 + 937,37 = 1113,31 \text{ тыс. руб.}$$

Себестоимость очистки 1 м^3 сточной воды, прошедшей очистку составляет:

$$C_o = \frac{\mathcal{E}}{Q_{\text{год}}}, \quad (\text{E.2.15})$$

где \mathcal{E} – эксплуатационные затраты, тыс. руб./год;

$Q_{\text{год}}$ – годовой расход очищаемой воды определяется по формуле (2.4.16), $\text{м}^3/\text{год}$.

$$Q_{\text{год}} = Q_{\text{сут}} \cdot n, \quad (\text{E.2.16})$$

где $Q_{\text{сут}}$ – суточный расход сточной воды, $\text{м}^3/\text{сут}$;

n – количество рабочих дней в году, 260 дней.

$$Q_{\text{год}} = 50 \cdot 260 = 13 \text{ тыс. м}^3 / \text{год}$$

Тогда себестоимость очистки по каждому из вариантов составляет:

$$C_o^1 = \frac{877,37}{13} = 67,49 \text{ руб.} / \text{м}^3$$

$$C_o^2 = \frac{935,88}{13} = 72,00 \text{ руб.} / \text{м}^3$$

$$C_o^3 = \frac{1083,84}{13} = 83,37 \text{ руб.} / \text{м}^3$$

Е.3 Расчет показателей экономической эффективности

Сравнение вариантов технических решений очистных сооружений, отличается друг от друга размером инвестиционных отложений и эксплуатационными расходами, производят при расчете модифицированной суммы приведенных строительно-эксплуатационных затрат.

Эффективность инвестиций рассчитывается по формуле

$$\mathcal{E}_\Pi = \sum_{i=0}^T \frac{K_i + \mathcal{Z}_i}{(1+E)^i}, \quad (\text{E.3.1})$$

где \mathcal{Z}_i – сумма текущих затрат, тыс. руб./год;

E – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений.
0,16;

K_i – капитальные вложения, тыс. руб./год;

T – период расчета, 6 лет.

$$\begin{aligned}\mathcal{A}_n^1 &= \frac{163,91 + 0,16 \cdot 983,4486}{(1 + 0,16)^1} + \frac{163,91 + 0,16 \cdot (983,4486 - 163,91) + 877,37}{(1 + 0,16)^2} + \\ &+ \frac{163,91 + 0,16 \cdot (983,4486 - 2 \cdot 163,91) + 877,37}{(1 + 0,16)^3} + \frac{163,91 + 0,16 \cdot (983,4486 - 3 \cdot 163,91) + 877,37}{(1 + 0,16)^4} + \\ &+ \frac{163,91 + 0,16 \cdot (983,4486 - 4 \cdot 163,91) + 877,37}{(1 + 0,16)^5} + \frac{163,91 + 0,16 \cdot (983,4486 - 5 \cdot 163,91) + 877,37}{(1 + 0,16)^6} = \\ &= 3159,76 \text{ тыс. руб.}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mathcal{A}_n^2 &= \frac{160,62 + 0,16 \cdot 963,7086}{(1 + 0,16)^1} + \frac{160,62 + 0,16 \cdot (963,7086 - 160,62) + 935,88}{(1 + 0,16)^2} + \\ &+ \frac{160,62 + 0,16 \cdot (963,7086 - 2 \cdot 160,62) + 935,88}{(1 + 0,16)^3} + \frac{160,62 + 0,16 \cdot (963,7086 - 3 \cdot 160,62) + 935,88}{(1 + 0,16)^4} + \\ &+ \frac{160,62 + 0,16 \cdot (963,7086 - 4 \cdot 160,62) + 935,88}{(1 + 0,16)^5} + \frac{160,62 + 0,16 \cdot (963,7086 - 5 \cdot 160,62) + 935,88}{(1 + 0,16)^6} = \\ &= 3287,33 \text{ тыс. руб.}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mathcal{A}_n^3 &= \frac{162,91 + 0,16 \cdot 977,4596}{(1 + 0,16)^1} + \frac{162,91 + 0,16 \cdot (977,4596 - 162,91) + 1083,84}{(1 + 0,16)^2} + \\ &+ \frac{162,91 + 0,16 \cdot (977,4596 - 2 \cdot 162,91) + 1083,84}{(1 + 0,16)^3} + \frac{162,91 + 0,16 \cdot (977,4596 - 3 \cdot 162,91) + 1083,84}{(1 + 0,16)^4} + \\ &+ \frac{162,91 + 0,16 \cdot (977,4596 - 4 \cdot 162,91) + 1083,84}{(1 + 0,16)^5} + \frac{162,91 + 0,16 \cdot (977,4596 - 5 \cdot 162,91) + 1083,84}{(1 + 0,16)^6} = \\ &= 3623,34 \text{ тыс. руб.}\end{aligned}$$

Е.4 Расчет наносимого ущерба водоему в случае сброса неочищенных сточных вод

Экономическое обоснование инженерных мероприятий по охране водных ресурсов от загрязнений может быть связано с определением предотвращенного ущерба, который наносится окружающей среде попаданием загрязненных сточных вод в водоемы. Согласно методике исчисления размера вреда, причиненного водному объекту вследствие нарушения водного законодательства, расчет ущерба ведется по следующей формуле [78]:

$$Y = K_{\theta} \cdot K_{\theta_2} \cdot K_{ин} \cdot \sum_{i=1}^n (H_i \cdot M_i) \cdot K_{из}, \quad (E.4.1)$$

где K_{θ} – коэффициент, учитывающий экологические факторы (состояние водных объектов), определяется в соответствии с таблицей 1 [78];

K_{θ_2} – коэффициент, учитывающий природно-климатические условия в зависимости от времени года, в соответствии с таблицей 2 [78];

$K_{ин}$ – коэффициент индексации, учитывающий инфляционную составляющую экономического развития;

H_i – таксы для исчисления размера вреда от сброса i -го загрязняющего вещества в водные объекты определяются в соответствии с таблицей 3 приложения 1, тыс. руб./т [78];

M_i – масса сброшенного i -го загрязняющего вещества определяется по каждому загрязняющему веществу по формуле (4.4.2), т;

$K_{из}$ – коэффициент, учитывающий интенсивность негативного воздействия загрязняющих веществ на водный объект, определяется в соответствии с пунктом 11.2 [78].

Предприятие имеет производительность $Q = 50$, м³/сут. Качественный состав воды металлургического производства приведен в таблице Е.4.1.

Таблица Е.4.1 – Качественный состав сточных вод

Показатели	Концентрация фактическая, мг/л
Хром, Cr ⁺⁶ , мг/дм ³	95
Взвешенные вещества, мг/дм ³	50

Предельно-допустимые концентрации загрязняющих веществ в сточной воде перед сбросом в источник проанализированы. Все результаты сведены в таблицу Е.4.2.

Таблица Е.4.2 – Предельно-допустимые концентрации загрязняющих веществ в сточной воде перед сбросом в источник

Показатели	Концентрация фактическая, мг/дм ³	ПДК, мг/дм ³	Класс опасности
Хром, Cr ⁺⁶ , мг/дм ³	95	0,05	3
Взвешенные вещества, мг/дм ³	50	5,25	4

Масса сброшенных загрязняющего вещества в составе сточных вод при наличии документов на право пользования водными объектами и иных разрешительных документов, предусмотренных законодательством РФ, согласно [80] рассчитывается по следующей формуле

$$M_i = Q \cdot (C_{\phi i} - C_{\partial i}) \cdot T \cdot 10^{-6}, \quad (\text{Е.4.2})$$

где i – загрязняющее вещество, по которому исчисляется размер вреда;

Q – расход сточных вод с превышением содержания загрязняющего вещества м³/ч;

$C_{\phi i}$ – средняя фактическая за период сброса концентрация загрязняющего вещества в сточных водах, определяемая по результатам анализов аккредитованной лаборатории как средняя арифметическая из общего количества результатов анализов (не менее 3-х) за период времени T , мг/л;

$C_{\partial i}$ – допустимая концентрация i -го загрязняющего вещества, мг/л;

T – продолжительность сброса сточных вод с повышенным содержанием загрязняющих веществ, с момента обнаружения сброса до его прекращения, ч;
 10^{-6} – коэффициент перевода массы загрязняющего вещества в тонны.

Расчет показателей ведется в табличной форме. Полученные результаты сведены в таблицу Е.4.3.

Таблица Е.4.3 – Сводная таблица размера вреда от сброшенных веществ

Показатели	Класс опасности	ПДК, мг/дм ³	Концентрация фактическая C_{fi} , мг/л	Превышение	Масса сброшенных загрязняющих веществ, т	Такса, Н, тыс. руб./т	$K_{из}$	Размер вреда от сброса загрязняющего вещества $У$, тыс. руб./сут.
Хром, Cr^{+6} , мг/дм ³	3	0,05	95	1900	0,0047	670	5	63,589
Взвешенные вещества, мг/дм ³	4	5,25	50	9,52	0,0022	30	1	0,267
								$\Sigma 63,86$

Ущерб, нанесенный водоему за смену составляет $У = 63,86$ тыс. руб., что в свою очередь составляет 16602,56 тыс. руб./год.

Анализируя данные по себестоимости очистки воды и ущербу, наносимому водоему в результате сброса, можно сделать вывод, что ущерб от суточного сброса превышает затраты, связанные с себестоимостью практически в 19 раз при использовании первого варианта. При использовании второго варианта очистки хромсодержащих сточных вод в 18 раз, и в 15 раз при использовании варианта № 3 (рисунок Е.4.1).

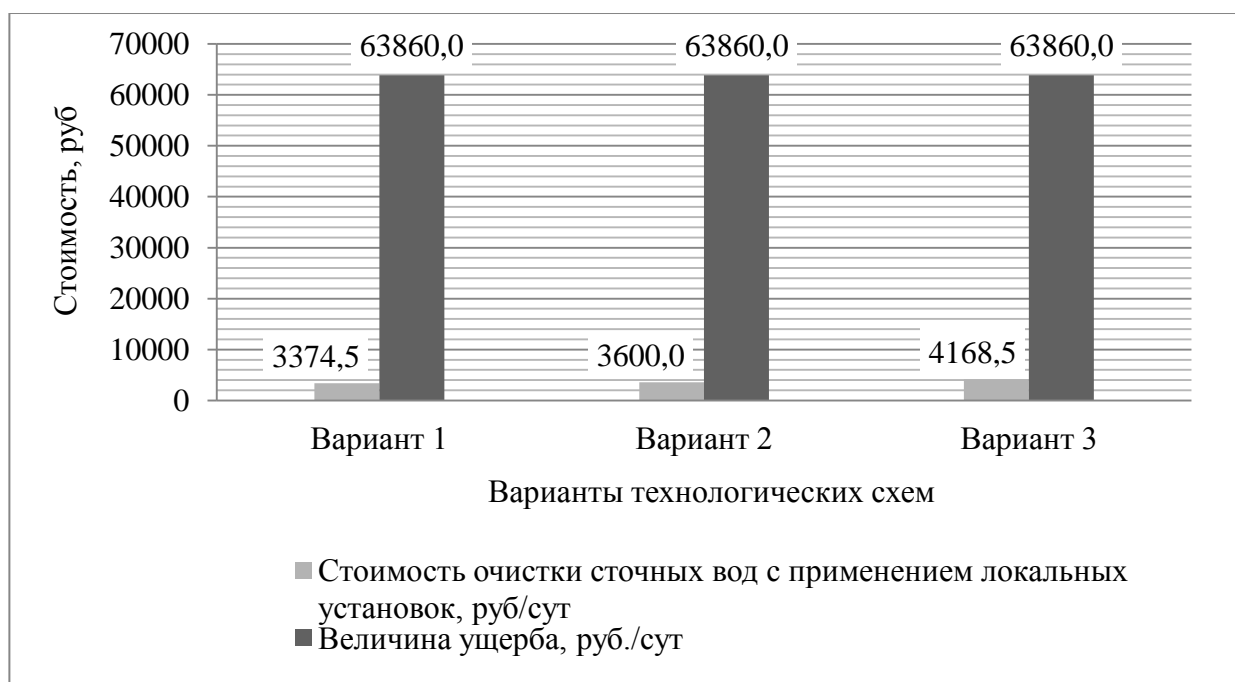


Рисунок Е.4.1 – Сравнение стоимости очистки сточных вод, содержащих ионы шестивалентного хрома, с размером ущерба

По этой причине целесообразнее и выгоднее использовать локальные установки для очистки сточных вод, содержащих ионы шестивалентного хрома, нежели производить сброс неочищенных стоков в водоем. При этом локальные установки по каждому из представленных вариантов, окупятся меньше чем за год

Е.5 Технико-экономический анализ сравниваемых вариантов очистки хромсодержащих сточных вод

В таблице Е.5.1 и на рис. Е.5.1 и Е.5.2 приведены технико-экономические показатели сравниваемых вариантов очистки хромсодержащих сточных вод.

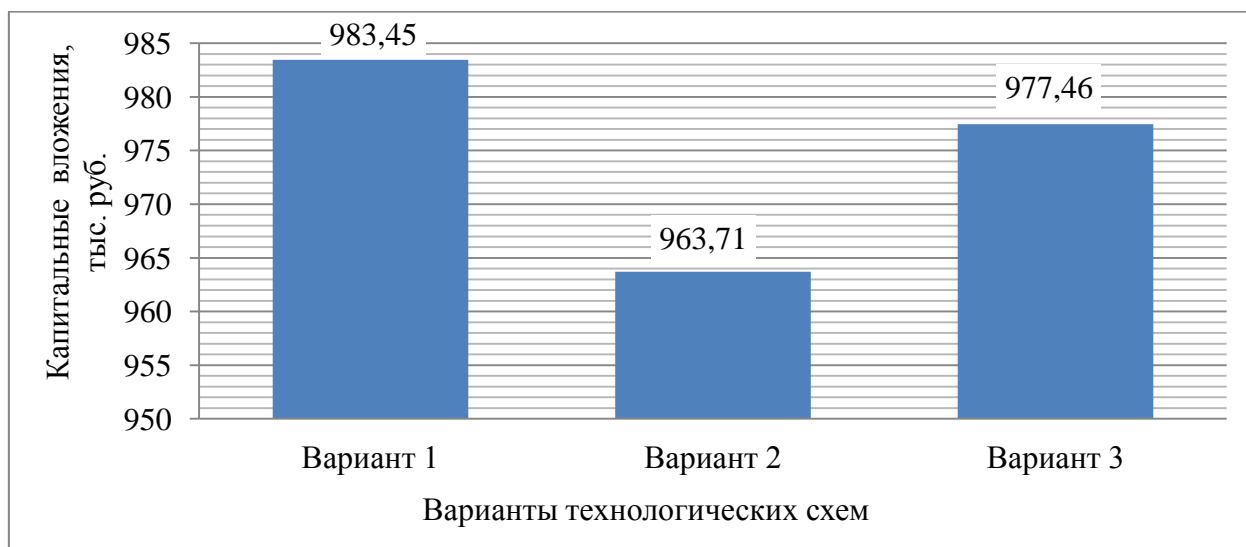


Рисунок Е.5.1 – Капитальные вложения для очистки сточных вод, содержащих ионы шестивалентного хрома

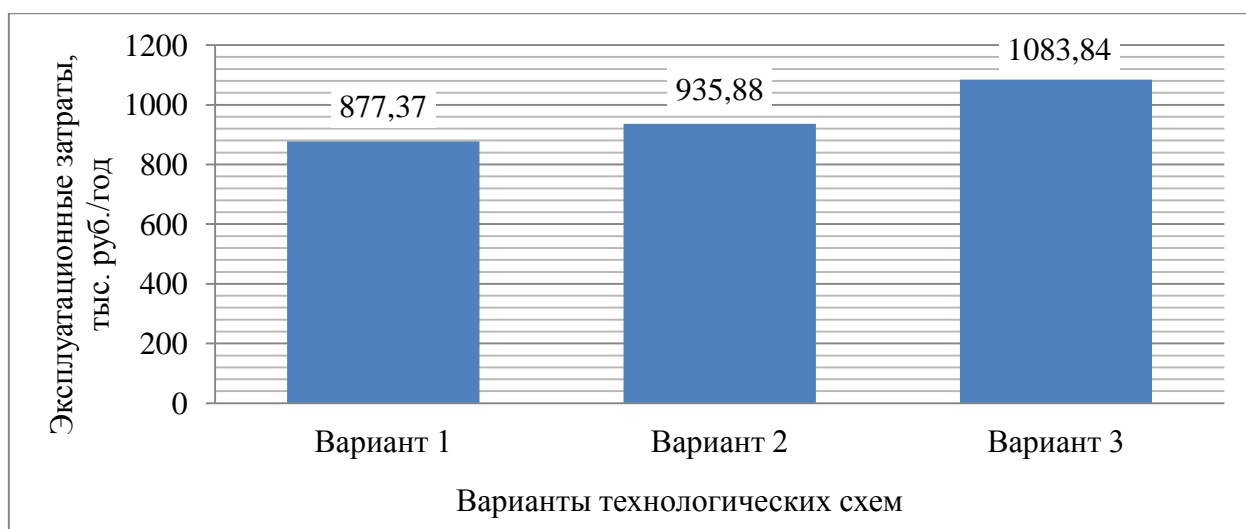


Рисунок Е.5.2 – Эксплуатационные затраты очистки сточных вод, содержащих ионы шестивалентного хрома

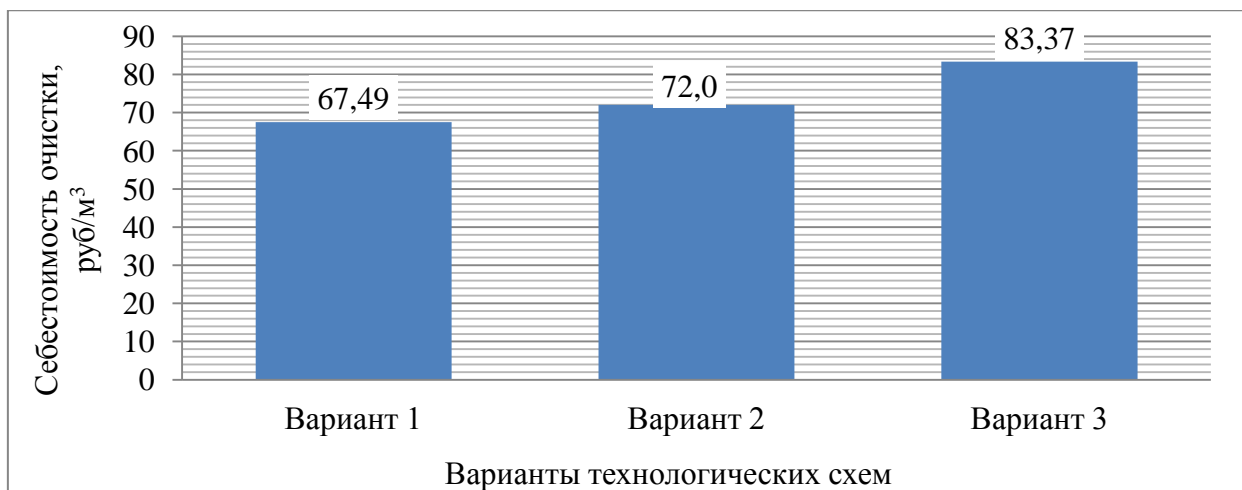


Рисунок Е.5.3 – Себестоимость очистки сточных вод, содержащих ионы шестивалентного хрома

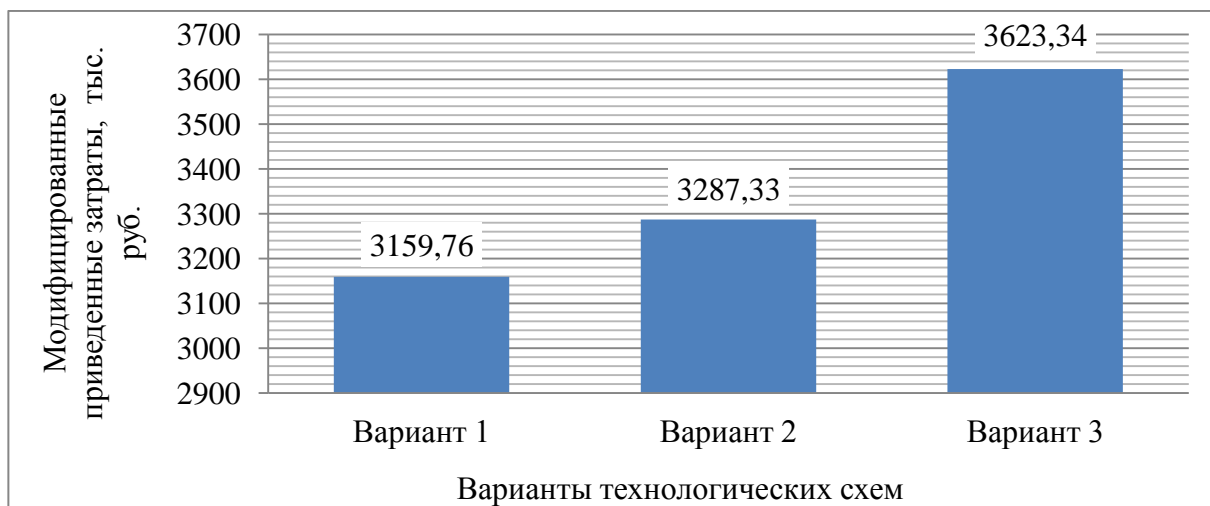


Рисунок Е.5.4 – Модифицированные приведенные затраты очистки сточных вод, содержащих ионы шестивалентного хрома

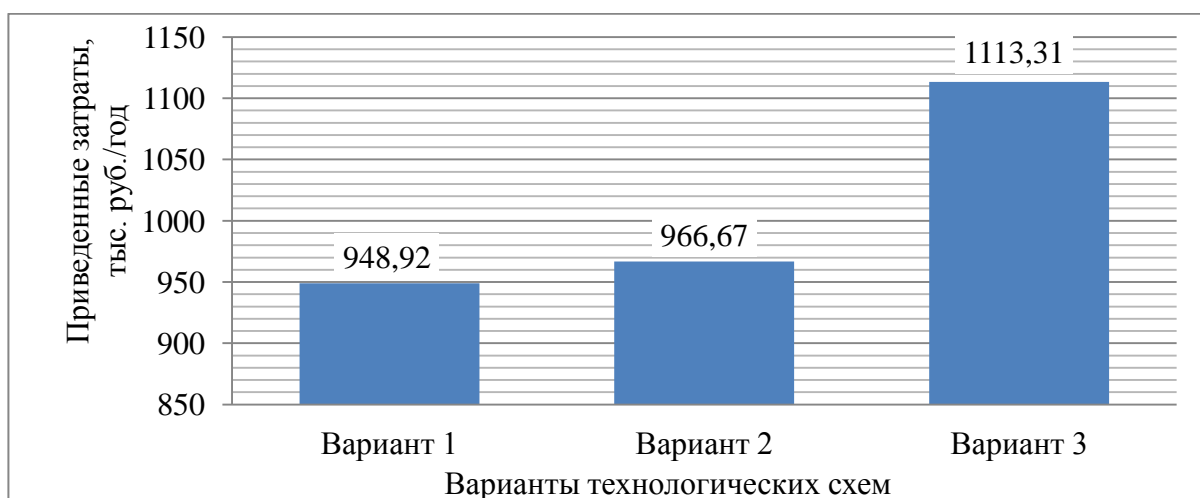


Рисунок Е.5.5 – Модифицированные приведенные затраты очистки сточных вод, содержащих ионы шестивалентного хрома

Таблица Е.5.1 – Сравнение технико-экономических показателей

№	Наименование показателей	Единицы измерения	Инвестиционные проекты		
			1 вариант	2 вариант	3 вариант
1	Капитальные вложения	тыс. руб.	983,45	963,71	977,46
2	Эксплуатационные затраты	тыс. руб./год	877,37	935,88	1083,84
3	Себестоимость очистки	руб./м ³	67,49	72,00	83,37
4	Модифицированные приведенные затраты	тыс. руб.	3159,76	3287,33	3623,34
5	Приведенные затраты	тыс. руб.	948,92	966,67	1113,31
Σ			6036,99	6225,59	6881,32

Анализируя представленные таблицу (Е.5.1) и вышеприведенные рисунки, следует отметить, что наиболее экономичным и выгодным по технико-экономическим показателям является вариант №1, подразумевающий использование гальванокоагуляционной обработки сточных вод, содержащих ионы шестивалентного хрома.

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

Мероприятия по обеспечению безопасности жизнедеятельности

Безопасность жизнедеятельности на производстве – это совокупность многих правил и норм, созданных для обеспечения защиты жизни и сохранения здоровья человека в производственной среде. В свою очередь производственная среда это часть окружающей человека среды, включающая природно-климатические факторы и факторы, связанные с производственной деятельностью, называемые вредными и опасными [81].

При приеме на работу будущий сотрудник обязательно должен пройти инструктаж по технике безопасности. Задача руководителей предприятий и их подразделений осуществлять четкий контроль над своевременностью инструктажей. Ведение журнала с подписями всех работников, прошедших инструктаж, необходимо.

В данной выпускной квалификационной работе разработаны технологии обезвреживания хромосодержащих сточных вод в виде локальных установок, рассчитанных на производительность 50 м³/сут.

Локальные установки, представленные в данной выпускной квалификационной работе, предназначены для очистки хромосодержащих сточных вод гальванического производства, в которых содержатся соединения Cr⁶⁺, оказывающего общетоксическое воздействие широкого спектра на организм человека. Соединения шестивалентного хрома имеют способность аккумулироваться и живых организмах, не подвергаясь биологическому разрушению.

Известно, что общетоксическое действие хрома и его соединений выражается в поражении печени, почек, желудочно-кишечного тракта и сердечно-сосудистой системы. Однако, независимо от пути попадания хрома в организм, в первую очередь поражаются почки. В результате попадания соединений хрома на кожу на поврежденные участки кожных покровов ведет к образованию плохо заживающих язв, развитию хромовых дерматитов, сыпей, аллергии [7].

При попадании в пищеварительную систему хром вызывает поражения слизистой ЖКТ. При взаимодействии Cr⁶⁺ с органами дыхания – их поражение и удушливый кашель.

Отмечено, что в ходе обезвреживания хромосодержащих сточных вод, не только соединения хрома оказывают отрицательное воздействие на организм человека. Применяемые при очистке реагенты, такие как серная кислота, каустическая сода, при несоблюдении норм безопасности могут оказать негативное влияние.

Так при вдыхании аэрозоля H₂SO₄ раздражается и прижигается слизистая верхних дыхательных путей, появляется затрудненное дыхание, жжение в глазах, рвота. Впоследствии могут развиваться тяжелые легочные и бронхиальные заболевания [82].

Гидроксид натрия, попадая на кожные покровы и, в особенности на слизистые, образует мягкий струп. После таких «ожогов» остаются рубцы. Следует отметить, что при попадании в глаза даже малых количеств NaOH поражается не только роговица глаза, но и ткани находящиеся ниже, вызывая развитие слепоты. Это явление вызвано способностью едкого натра быстрого проникать в глуболежащие ткани.

Ж.1 Инструкция по охране труда для корректировщика по приготовлению реагентов

Общие требования безопасности [83]:

- к работам по обезвреживанию хромсодержащих сточных вод допускаются лица, достигшие восемнадцатилетнего возраста;
- работники обязаны проходить предварительный медицинский осмотр при поступлении на работу и периодический, не имеющие противопоказаний к выполнению работ с реагентами и сточными водами, обученные и прошедшие инструктаж по технике безопасности труда с подъемными механизмами;
- корректировщик станции нейтрализации отвечает за технически правильную эксплуатацию установок, исправность оборудования, за безопасное приготовление и правильное расходование реагентов, за своевременную доставку реагентов на станцию нейтрализации;
- не допускаются посторонние лица, а также лица, находящиеся в нетрезвом состоянии, в помещение реагентного хозяйства и к работающему оборудованию;
- работу с серной кислотой проводить в спецодежде, защитных очках, перчатках;
- при переливе серной кислоты следует помнить, что кислоту необходимо наливать в воду, во избежание разбрызгивания;
- запрещено принимать пищу и курить в рабочем помещении. Курение разрешено лишь в специально отведенных местах. Категорически запрещается распитие спиртных напитков;
- не разрешается на рабочих местах хранить горючие материалы, промасленную ветошь, смазочные материалы, в рабочем помещении должен иметься огнетушитель марки ОХВП-10;
- корректировщик обязан владеть навыками оказания первой медицинской помощи при несчастных случаях, при необходимости воспользоваться телефонами:
 - а) здравпункта завода;
 - б) пожарной охраны;
 - в) отдела техники безопасности.
- в случае травмы или заболевания необходимо прекратить работу, известить администрацию и обратиться в медпункт;
- при неисправности оборудования, насосов, запорной арматуры незамедлительно доложить об этом мастеру или начальнику станции нейтрализации;

- лица, нарушившие требования вышеприведенной инструкции, привлекаются к ответственности в дисциплинарном порядке.

Ж.1.1 Требования к технике безопасности перед началом работы

- необходимо надеть спецодежду в соответствии с характером предстоящей работы, подготовить средства индивидуальной защиты;
- ознакомиться по сменному журналу с работой очистных сооружений, с заданием по смене, при наличии распоряжения – расписаться под ним;
- вместе с корректировщиком, сдающим смену, проверить состояние оборудования, работу вентиляции, наличие химических реагентов, сделать соответствующую запись в журнале приема и сдачи смен;
- проверить, все ли баки с растворами реагентов плотно закрыты крышками;
- проверить по описи сохранность сдаваемых инструментов, приборов, спецодежды;
- расписаться в журнале приема и сдачи смен. В случае обнаружения неисправности оборудования и других недостатков незамедлительно доложить мастеру.

Ж.1.2 Требования к технике безопасности во время работы

- приготовление реагентных растворов и работа с ними должна вестись в спецодежде, защитных очках, резиновых сапогах, перчатках;
- не разрешается производить работу на оборудовании, признанном неисправным;
- работающее оборудование не разрешается оставлять без присмотра;
- во избежание получения ожогов все работы с реагентами производить с использованием средств индивидуальной защиты;
- строго соблюдать технику безопасности при использовании погрузочно-разгрузочных средств и иметь на это соответствующее удостоверение;
- при перекачке растворов на очистные сооружения строго следить за уровнем поступающего реагента и не допускать перелива концентрированного раствора через края емкостей;
- в обязанности корректировщика входит строгое соблюдение правил техники безопасности, а также содержание рабочего места в чистоте и порядке.

Ж.1.3 Требования к технике безопасности в случае аварийной ситуации

- в случае пожара тушение серной кислоты следует проводить песком;
- при попадании кислоты на незащищенные участки кожи необходимо смыть ее сильной струей воды и обратиться в медпункт;
- при попадании кислоты в полость рта произвести полоскание 5% раствором пищевой соды и обратиться в медпункт;

- в помещении реагентного хозяйства необходимо иметь медицинскую аптечку, содержание которой надлежит быть следующим:
 - а) раствор йода;
 - б) спиртовой раствор 5%;
 - в) бинт марлевый медицинский стерильный, бинт марлевый медицинский нестерильный, вата нестерильная;
 - г) нашатырный спирт;
 - д) вазелин;
 - е) жгут резиновый;
 - ж) раствор борной кислоты, 2%;
 - з) раствор пищевой соды, 5% [84].
- в случае перелива концентрированных растворов реагентов произвести уборку незамедлительно с надетым противогазом.

Ж.1.4 Требования к технике безопасности по окончании работы

- подготовить к сдаче следующей смене обслуживаемые участки и помещения;
- произвести необходимые записи в журнале о работе участка, о расходе реагентов, о замеченных недостатках сообщить мастеру или начальнику станции нейтрализации;
- после окончания работы принять душ, смазать руки защитным кремом;
- ознакомить сменщика со всеми распоряжениями мастера, расписаться в журнале сдачи смены;
- в случае неявки сменщика доложить об этом мастеру или начальнику станции нейтрализации и не покидать рабочее место до получения указаний начальника.

Ж.2 Техника безопасности при работе с электрооборудованием станции очистки сточных вод

Электробезопасность – это система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

Электрический ток представляет серьёзную опасность для жизни человека. Он производит три вида воздействия на организм человека: термическое, электролитическое и биологическое. Термическое действие проявляется в ожогах наружных и внутренних участков тела, нагреве кровеносных сосудов и крови, что вызывает в них серьёзные функциональные расстройства. У людей, работающих в зоне воздействия электростатического поля, наблюдаются: раздражительность, головная боль, нарушение сна [79].

Электролитическое воздействие заключается в разложении крови и другой органической жидкости, вызывая тем самым значительные нарушения их физико-химических составов и ткани в целом.

Биологическое действие выражается в раздражении и возбуждении живых тканей организма, что может сопровождаться непроизвольными судорожными сокращениями мышц, в том числе легочной и сердечной мышцы.

Различают два основных вида поражения организма: электрические травмы и электрические удары. Часто оба вида поражения сопутствуют друг другу.

Электрические травмы – это чётко выраженные местные нарушения целостности тканей организма, вызванные воздействием электрического тока или электрической дуги. Обычно это поверхностные повреждения, то есть поражения кожи, а иногда других мягких тканей, а также связок и костей.

Электрический удар – это возбуждение живых тканей электрическим током, проходящим через организм, сопровождающееся непроизвольными судорожными сокращениями мышц. В зависимости от исхода отрицательного воздействия тока на организм электрические удары могут быть условно разделены на следующие четыре степени:

- судорожное сокращение мышц без потери сознания;
- судорожное сокращение мышц с потерей сознания, но с сохранившимся дыханием и работой сердца;
- потеря сознания и нарушение сердечной деятельности или дыхания (либо того и другого вместе);
- клиническая смерть, то есть отсутствие дыхания и кровообращения.

Поражение электрическим током человека на производстве возможно при нарушении изоляции токопроводящих проводов и обмоток электродвигателей, а также в случае нарушения их заземления. Во избежание получения травм электрическим током, следует выполнять следующие предписания:

- электроустановки должны находиться в технически исправном состоянии, обеспечивающем безопасные условия труда;
- работники, принимаемые для выполнения работ в электроустановках, должны иметь профессиональную подготовку, соответствующую характеру работы, либо должны быть обучены при отсутствии профессиональной подготовки.
- в электроустановках напряжением до 1000 В при работе под напряжением необходимо оградить расположенные вблизи рабочего места другие токоведущие части, находящиеся под напряжением, к которым возможно случайное прикосновение;
- работы следует проводить с использованием средств индивидуальной защиты: диэлектрические галоши, изолирующие подставки либо резиновые диэлектрические ковры;
- запрещено применять не изолированный инструмент (у отверток, кроме того, должен быть изолирован стержень), следует пользоваться диэлектрическими перчатками.
- не допускается работать в одежде с короткими или засученными рукавами, а также использовать ножовки, напильники, металлические метры [85].

В качестве заземляющих устройств электроустановок в первую очередь используются естественные заземлители, такие как железобетонные фундаменты промышленных зданий и сооружений. Допускается применение переносных заземлителей. Переносными заземлителями называют временные заземлители. Их предназначение заключено в обеспечении защиты от поражения током персонала, производящего работы на отключённых токоведущих частях электроустановки. Они срабатывают при случайном появлении напряжения на этих частях. К ним принято относить: дополнительно заземляющий проводник, металлическая цепь, касающаяся земли, ввинчиваемые в землю стальные трубы либо стальные стержни.

Для исключения возможности прикосновения или опасного приближения к незаизолированным токоведущим частям рабочих, следует обеспечить недоступность последних посредством ограждения или расположения токоведущих частей на недоступной высоте или в недоступном месте, так как прикосновение к токоведущим частям всегда может быть опасным, даже в сети напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью и малой ёмкостью. Нередко опасно даже приближение к токоведущим частям.

Для обеспечения недоступности незаизолированных токоведущих частей широкое применение нашла блокировка. Блокировками безопасности называются устройства, не допускающие опасных ошибок в работе, а также обеспечивающие недоступность к токоведущим частям находящимся под напряжением.

Блокировка применяется в электроустановках, в которых часто производятся работы на ограждаемых токоведущих частях. Это могут быть испытательные стенды, установки для испытания изоляции повышенным напряжением. Блокировки устанавливаются также в электрических аппаратах – рубильниках, пускателях, автоматических выключателях и других устройствах, работающих в условиях с повышенными требованиями безопасности.

Для защиты зачастую используются сигнализирующие средства, включающие запрещающие и предупредительные знаки безопасности, а также плакаты, имеющие запрещающий, предостерегающий либо разрешающий характер. Чаще всего используется предупреждающий знак «Прход запрещен».

В качестве организационных мер защиты рабочих производится инструктаж. Целью инструктажа является сообщение работникам знаний, необходимых для правильного и безопасного выполнения ими своих профессиональных обязанностей, а также формирование у работников убеждения в объективной и абсолютной необходимости выполнения правил и норм безопасной жизнедеятельности в производственной среде. - вводный инструктаж.

Стоит отметить, что зачастую травмы на производстве происходят по причине несоблюдения установленной техники безопасности, задача которой предупредить или уменьшить вредное воздействие электрического тока на организм человека.

Ж.3 Расчет вентиляционной системы

В процессе электролиза, при протекании катодных процессов, происходит образование и выделение молекулярного водорода. Отмечу, что данный газ не токсичен, но он может образовывать с воздухом взрывоопасную смесь и относится к группе II-C-T1 взрывоопасных веществ.

Помещение в котором находятся электролизёры, следует относить к пожароопасной и взрывоопасной категории.

По этой причине необходимо произвести расчеты для определения необходимости установки непосредственно над электролизерами принудительной вентиляции.

За 1 минуту при $t=0^{\circ}\text{C}$ и $P=760$ мм. рт. ст. в электролизе образуется объём водорода, равный:

$$V_0 = \eta_k \cdot C_v \cdot I, \quad (\text{Ж.3.1})$$

где η_k – катодный выход по току;

C_v – объемный электрический эквивалент водорода, $7 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^3}{\text{А} \cdot \text{мин}}$;

I – рабочий ток, необходимый для растворения железа, А.

$$V_0 = 7 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 1499,5 = 0,0105 \text{ м}^3 / \text{мин}$$

Количество газа, выделившегося при температуре рабочей зоны 15°C :

$$V'_T = V_0 \cdot \frac{273+t}{273}, \quad (\text{Ж.3.2})$$

где V_0 – количество водорода, образующееся в электролизере за 1 минуту при $t=0^{\circ}\text{C}$ и $P=760$ мм. рт. ст, $\text{м}^3/\text{мин}$;

t – температура рабочей зоны, $^{\circ}\text{C}$.

$$V'_T = 0,0105 \cdot \frac{273+15}{273} = 0,0111 \text{ м}^3 / \text{мин}$$

Объём растворенного водорода в 1 м^3 сточной воды:

$$W_p = \frac{21,4 \cdot (273+t)}{273 \cdot 10^3}, \quad (\text{Ж.3.3})$$

где t – температура рабочей зоны, $^{\circ}\text{C}$.

$$W_p = \frac{21,4(273+15)}{273 \cdot 10^3} = 0,0226 \text{ м}^3$$

Объём газа, выделившегося при температуре рабочей зоны 15^0C в $1м^3$ сточной воды при $Q = 6,25м^3 / ч$ за 1 мин:

$$W_T = V'_T \cdot t_K, \quad (Ж.3.4)$$

где t_K – время контакта, рассчитывается по формуле (6.3.5), мин.

$$t_K = \frac{W_{эл}}{Q}, \quad (Ж.3.5)$$

где $W_{эл}$ – объём электролизёров, $м^3$;

Q – часовой расход сточной воды, $м^3/ч$.

$$t_K = \frac{0,105}{6,25 / 60} = 1_{мин}$$

Тогда объём газа, представленный в формуле (6.3.4) выделившегося при температуре рабочей зоны 15^0C в $1м^3$ сточной воды при $Q = 6,25м^3 / ч$ за 1 мин будет равен:

$$W_T = 0,0111 \cdot 1 = 0,0111м^3$$

Рассчитаем объём водорода, уходящего в атмосферу:

$$W_A = W_T - W_P, \quad (Ж.3.6)$$

где W_T – объём газа, выделившегося при температуре рабочей зоны 15^0C в $1м^3$ сточной воды при $Q = 6,25м^3 / ч$ за 1 мин, $м^3$;

W_P – объём растворенного водорода в $1м^3$ сточной воды, $м^3$.

$$W_A = 0,0111 - 0,0226 = -0,0115$$

Отрицательное значение свидетельствует о полном растворении выделяющегося водорода в воде, следовательно, вытяжной вентиляции над электролизерами проектировать не требуется.

Исследование процесса реагентной очистки хромсодержащих сточных вод по методу Бокса-Хантера

Матрица планирования эксперимента

№ опыта	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₁	X ₂	X ₁ ²	X ₂ ²	X ₃ ²	Z ₁ мг/л	Z ₂ рН _{исх}	Z ₃ Др, мг/л	Y ₁ мг/л
1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	125	2,5	450	0,02
2	-1	+1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	65	2,5	450	0,01
3	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	+1	+1	125	1,5	450	0,09
4	+1	+1	-1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	125	2,5	250	0,07
5	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	65	1,5	230	0,3
6	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	65	1,5	450	0,01
7	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	+1	+1	65	2,5	250	0,46
8	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	125	1,5	250	0,83
9	-1,68	0	0	0	0	0	2,82	0	0	40,6	2	350	0,01
10	1,68	0	0	0	0	0	2,82	0	0	145,4	2	350	5,87
11	0	-1,68	0	0	0	0	0	2,82	0	95	1,16	350	0,23
12	0	1,68	0	0	0	0	0	2,82	0	95	2,84	350	0,01
13	0	0	-1,68	0	0	0	0	0	2,82	95	2	182	5
14	0	0	1,68	0	0	0	0	0	2,82	95	2	518	0,01
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	95	2	350	0,01
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	95	2	350	0,24
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	95	2	350	0,01
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	95	2	350	0,05
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	95	2	350	0,09
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	95	2	350	0,02

Уравнение регрессии второго порядка

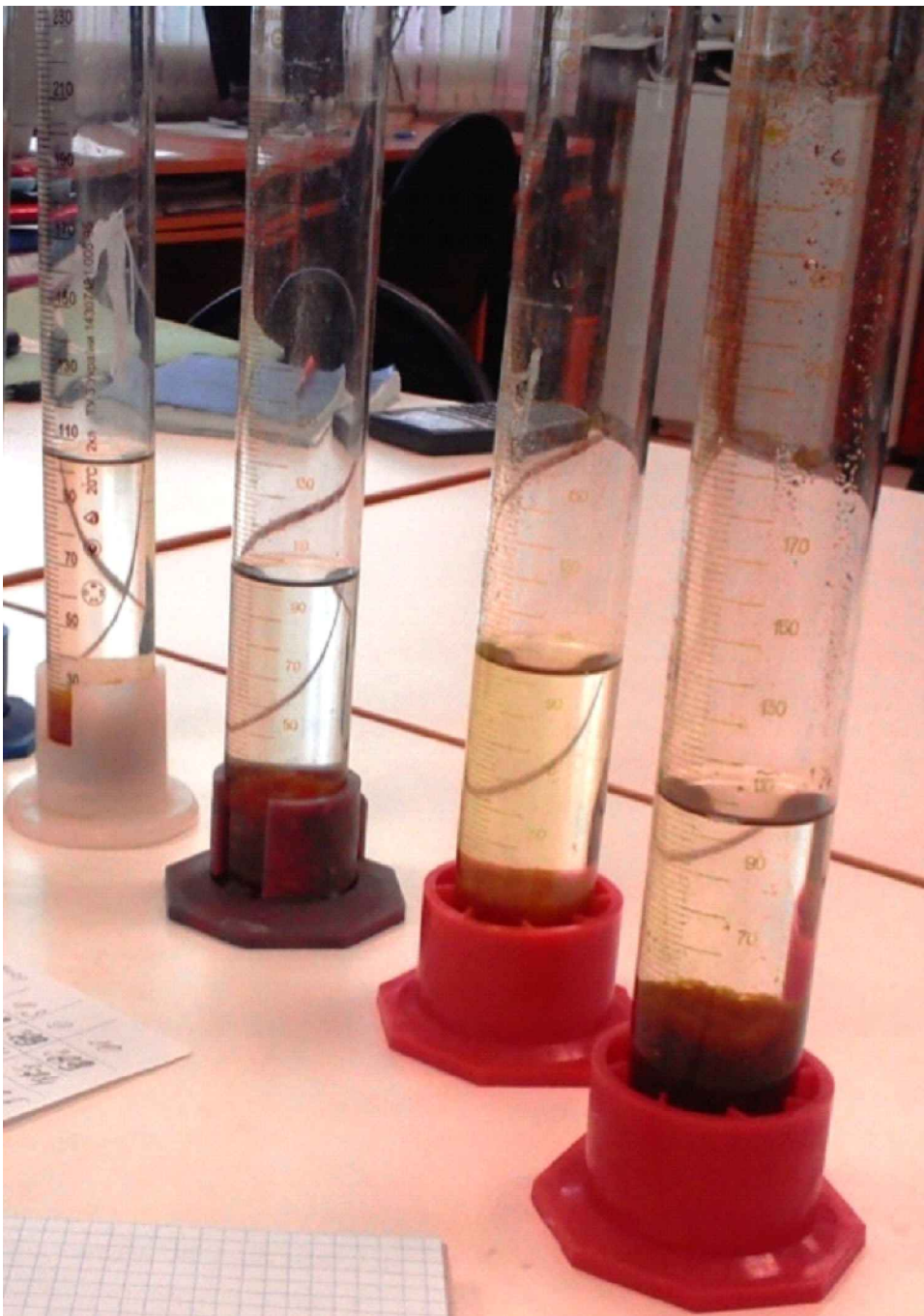
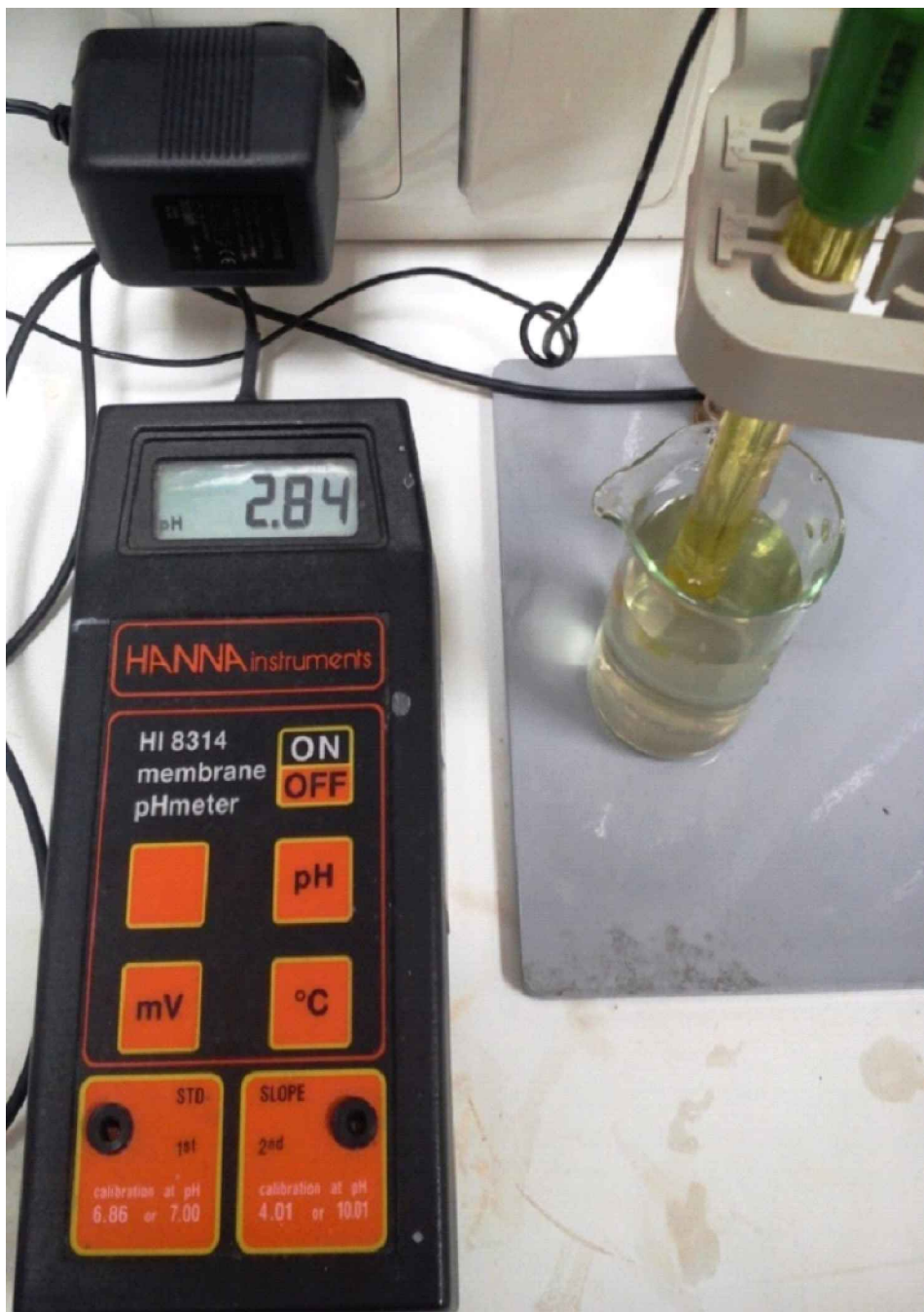
$Y_1 = 0,129+0,74X_1-0,076X_2-0,715X_3-0,124X_1X_1+0,084X_2X_3+0,65X_1^2-0,35X_2^2+0,492X_3^2$

Факторы и интервалы варьирования

Фактор	Интервал	+1,68	+1	0	-1	-1,68
X ₁	30	145,4	125	95	65	40,6
X ₂	0,5	2,84	2,5	2	1,5	1,16
X ₃	100	518	450	350	250	182

Варьируемые факторы:
X₁ – исходная концентрация хрома в стоке, мг/дм³;
X₂ – рН среды;
X₃ – доза FeSO₄, мг/дм³.

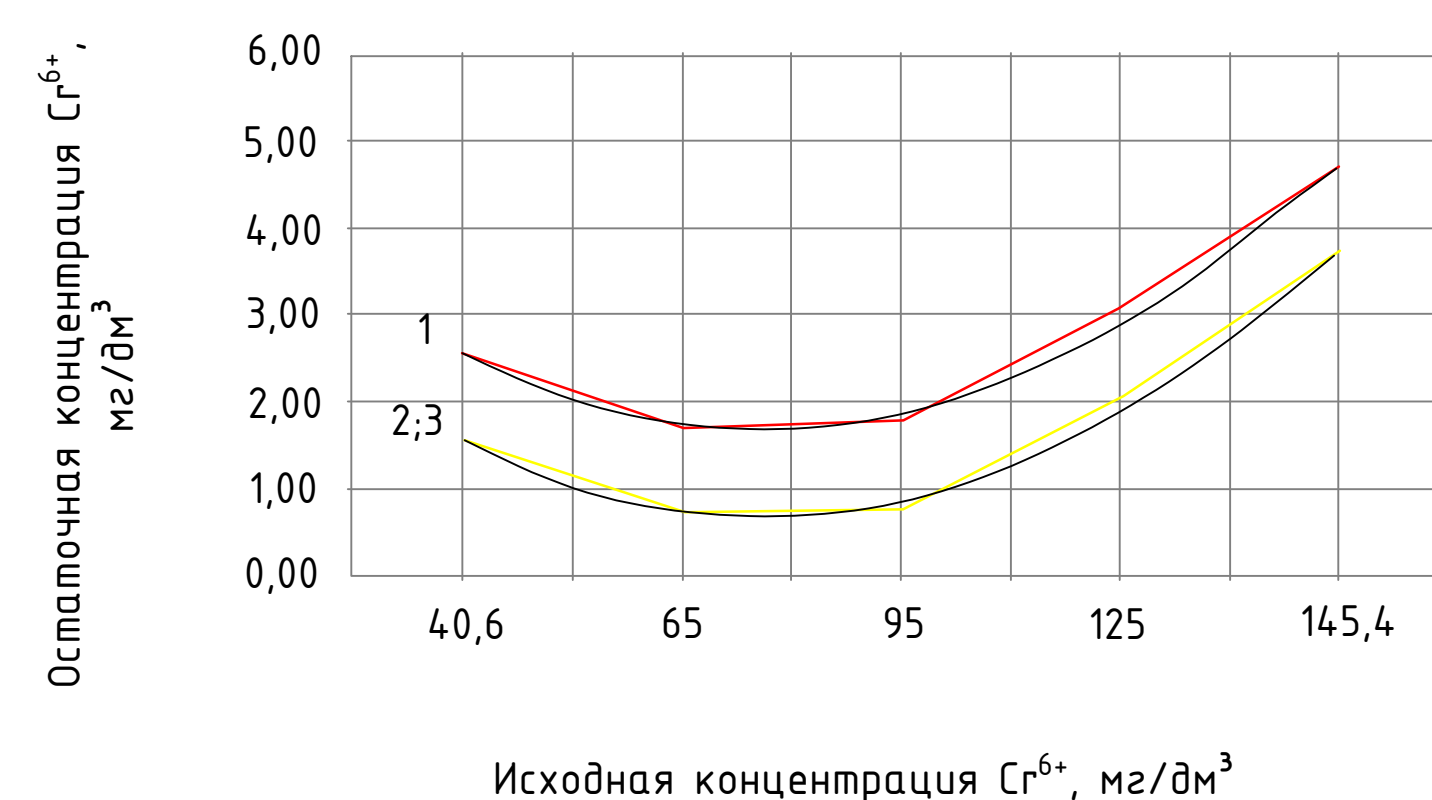
Оценочный критерий:
Y – остаточная концентрация ионов хрома в сточной воде, мг/дм³



						ВКР. БР. 270800.62.06 – 2016 Д					
						Сибирский федеральный университет Инженерно-строительный институт					
Изм.	Кол.уч	Лист	№док	Подпись	Дата	Разработка технологии физико-химической очистки хромсодержащих сточных вод			Стадия	Лист	Листов
Рук. ВКР	Калтырина Т.И.								У	1	7
Консультант	Калтырина Т.И.										
Норм.контр	Калтырина Т.И.										
Заб.каф.	Сакаш Г.В.					Исследование процесса реагентной очистки хромсодержащих сточных вод методом Бокса-Хантера, матрица планирования эксперимента			ИСЗиС гр. ИЭ12-21		

Исследование процесса реагентной очистки хромсодержащих сточных вод по методу Бокса-Хантера

Зависимость остаточной концентрации Cr^{6+} от
исходной концентрации Cr^{6+}



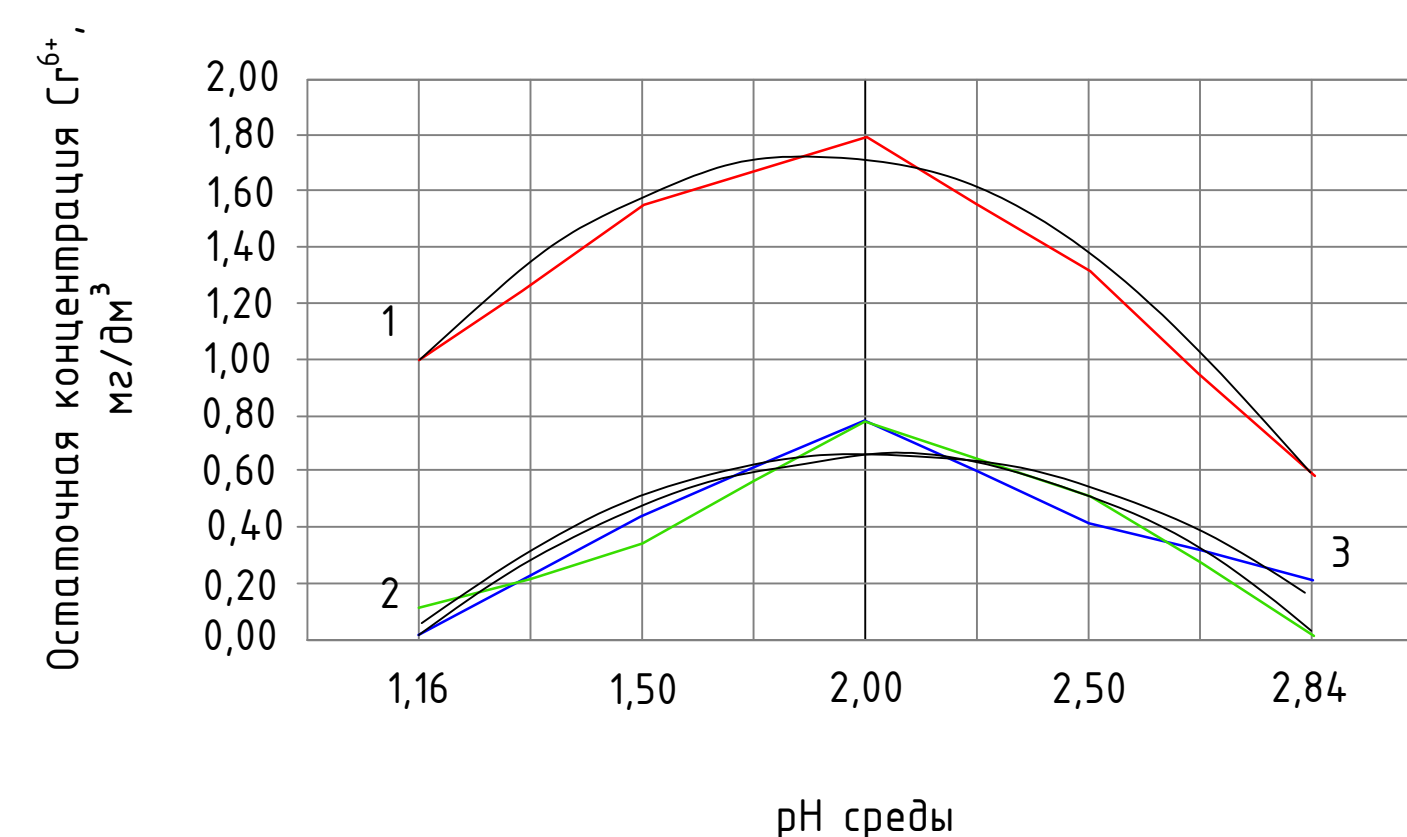
pH = 2;

$$D_{\text{FeSO}_4, 1} = 250 \text{ мз/м}^3; \quad Y_1 = 0,4468x^2 - 2,1195x + 4,2215$$

$$\rho_{\text{FeSO}_4 \cdot 2} = 450 \text{ кг/м}^3; \quad Y_2 = 0,4468x^2 - 2,1195x + 3,2015$$

$$\rho_{\text{FeSO}_4 \cdot 3} = 350 \text{ мз/м}^3. \quad Y_3 = 0,4468x^2 - 2,1195x + 3,2215$$

Зависимость остаточной концентрации Cr^{6+} от
рН исходного среды

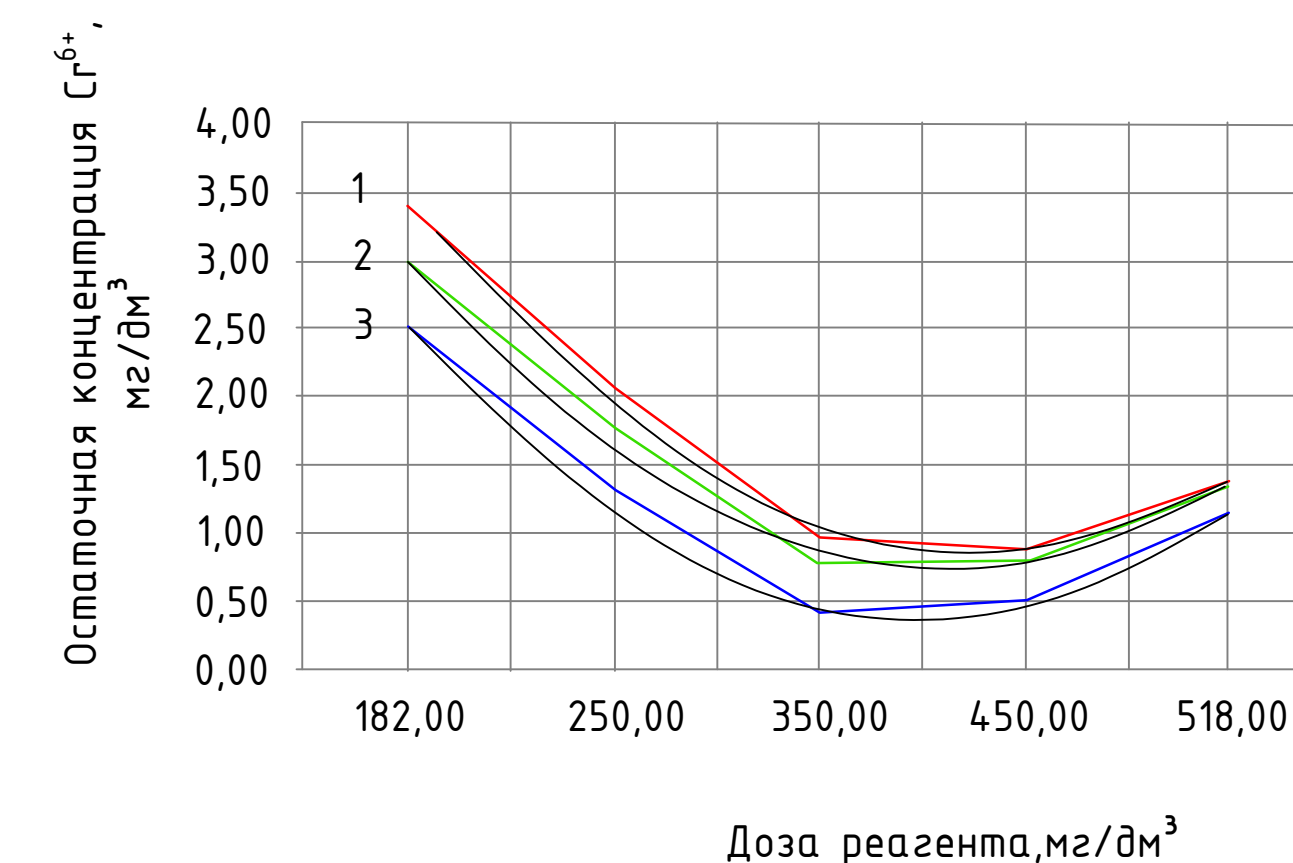

$$C_{\text{учх}} = 95 \text{ мг/дм}^3$$

$$\rho_{\text{FeSO}_4} = 250 \text{ кг/м}^3; \quad Y_1 = -0,2322x^2 + 1,2988x - 0,097$$

$$D_{\text{FeSO}_4, 2} = 450 \text{ мг/дм}^3; \quad Y_1 = -0,2322x^2 + 1,4741x - 1,6188$$

$$D_{\text{FeSO}_4, 3} = 350 \text{ м}^2/\text{дм}^3. \quad Y_1 = -0,2322x^2 + 1,3869x - 1,3612$$

Зависимость остаточной концентрации Cr^{6+} от дозы реагента


$$C_{\text{УСХ}} = 95 \text{ мг/дм}^3$$

$$Y_1 = 0,3318x^2 - 2,5138x - 5,6315$$

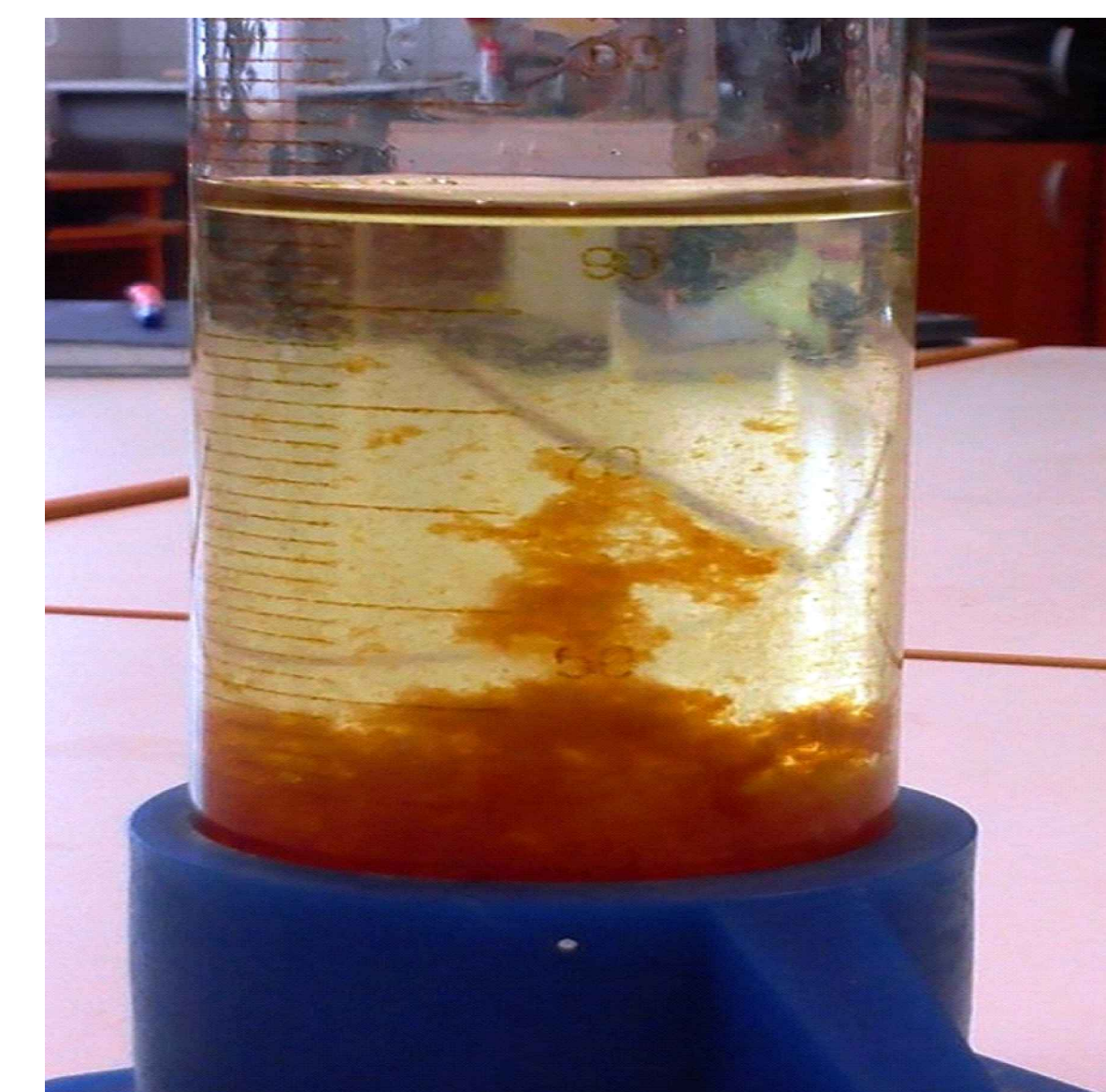
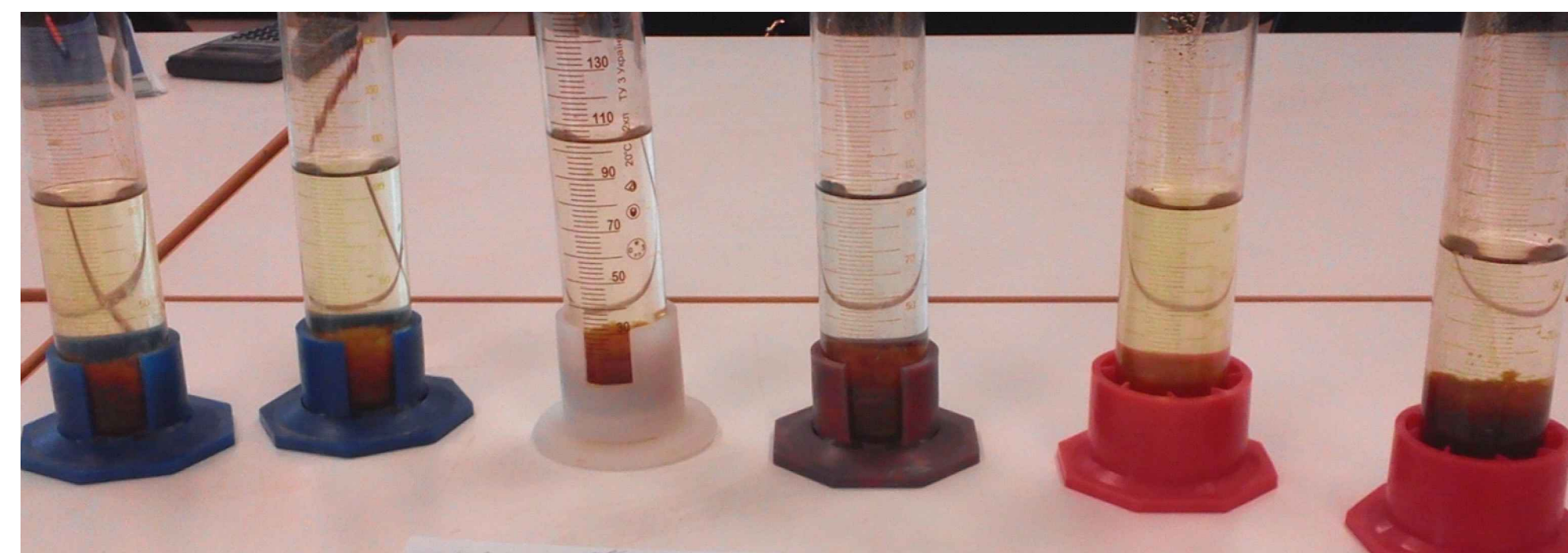
$$pH_2 = 2,5; \quad Y_2 = 0,3318x^2 - 2,4266x - 5,1699$$

$$pH_3 = 2. \quad Y_3 = 0,3318x^2 - 2,3394x - 4,5483$$

Уравнение регрессии второго порядка в натуральном масштабе

$$Y_1 = 0,0007 \cdot Z_1^2 - 1,4 \cdot Z_2^2 + 0,00005 \cdot Z_3^2 - 0,094 \cdot Z_1 + 5,64 \cdot Z_2 - 0,044 \cdot Z_3 - 0,008 \cdot Z_1 \cdot Z_2 + 0,002 \cdot Z_2 \cdot Z_3 + 7,102$$

где Z_1 – исходная концентрация хрома в стоке, мг/дм³;
 Z_2 – pH среды;
 Z_3 – доза FeSO₄, мг/дм³.
 Y – остаточная концентрация ионов хрома в сточной воде, мг/дм³



						ВКР. БР. 270800.62.06 - 2016 Д			
						Сибирский федеральный университет Инженерно-строительный институт			
Изм.	Кол-во	Лист	№док	Подпись	Дата	Разработка технологии физико-химической очистки хромосовещающих сточных вод	Страница	Лист	Лист
Разработано			Никольская Р.Ф.				У	2	7
Рук. ВКР			Халмурина Т.И.						
Консультант			Халмурина Т.И.						
Нормоконтр.			Халмурина Т.И.						
Эксп. отдел			Савина Г.В.			Исследование процесса равновесной очистки хромосовещающих сточных вод по методу Богд-Халмуде, адипонисит	ИСЗиС бр. ИЭ12-21		

Исследование процесса реагентной очистки хромосодержащих сточных вод по методу Брандона

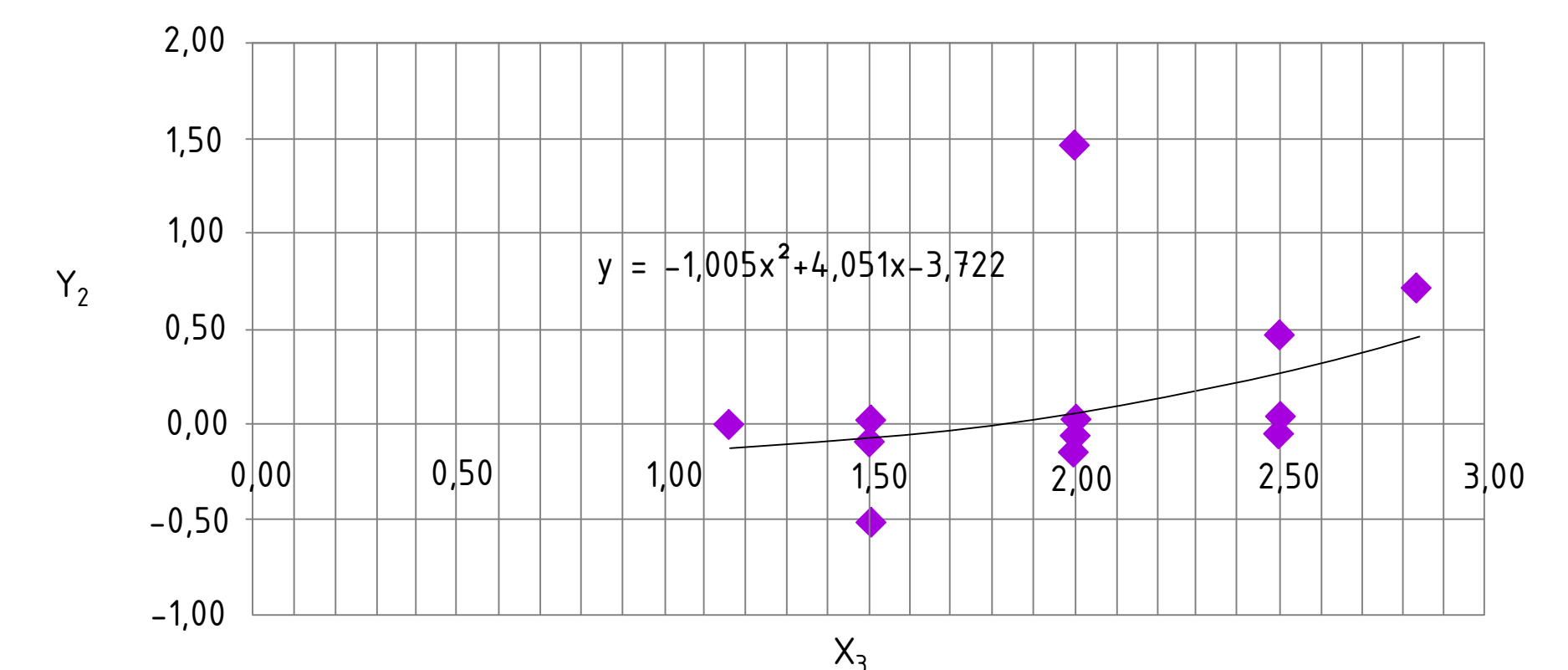
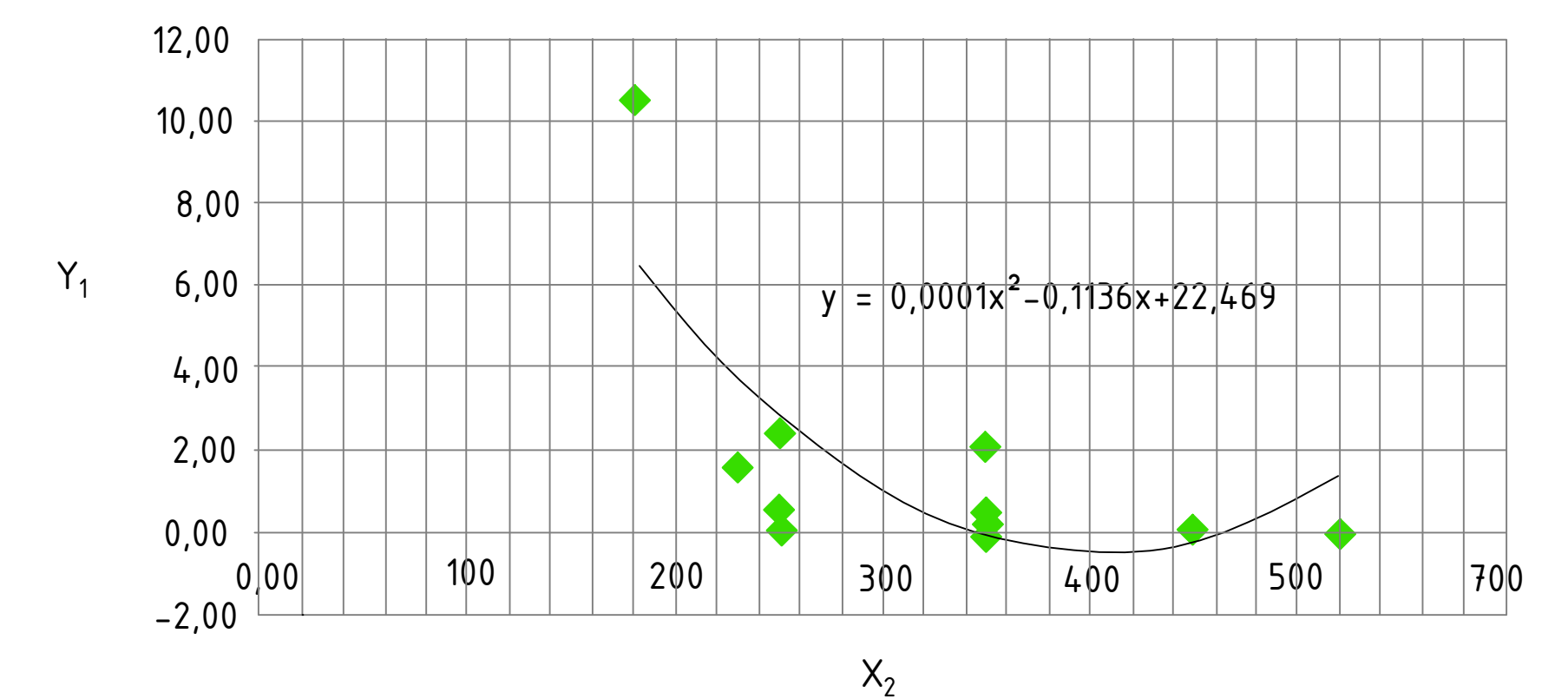
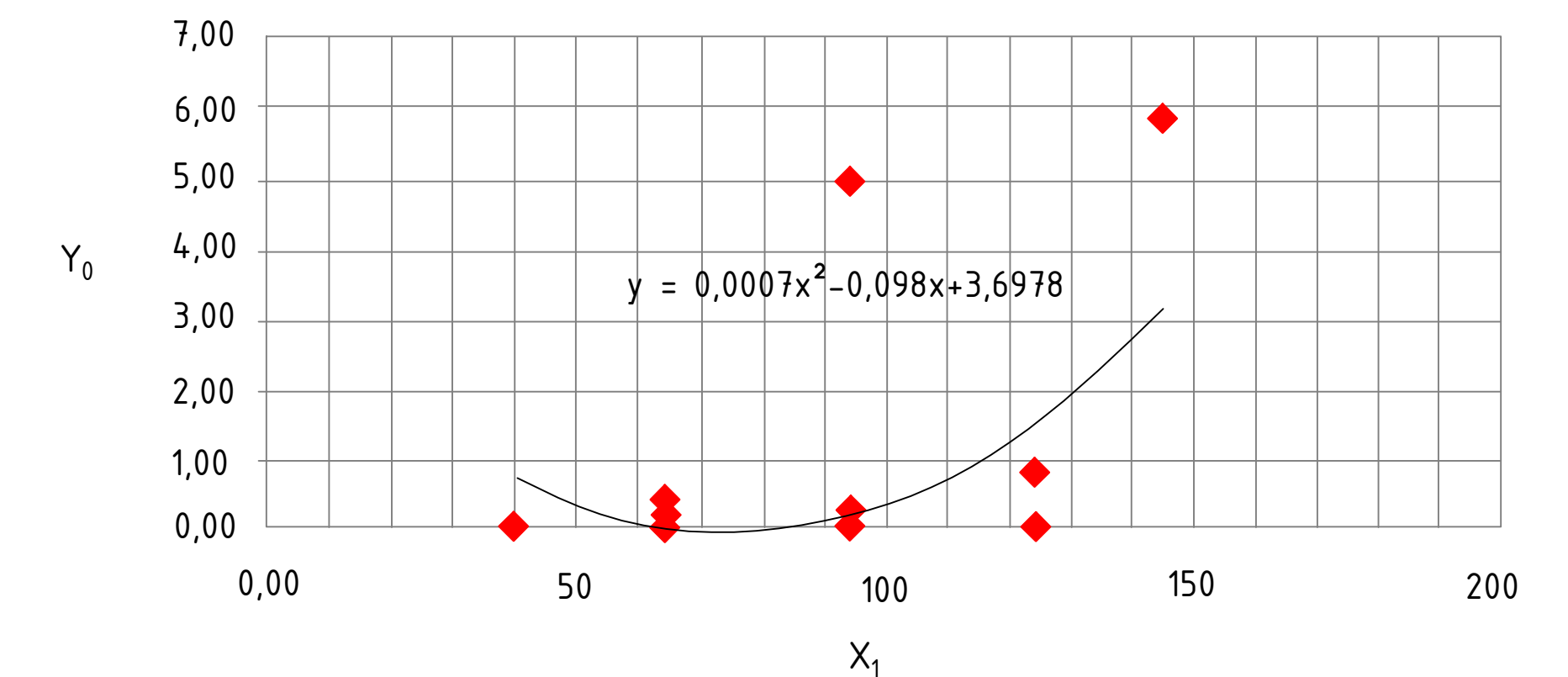
Результаты исследований процесса реагентной очистки хромосодержащих сточных вод (метод Брандона)

N	x ₁	x ₂	x ₃	y	y ₀	f ₁ (x ₁)	y ₁	f ₂ (x ₂)	y ₂	f ₃ (x ₃)	y ₃	K	K _{ср}	d ²
1	125	450	2,5	0,02	0,030	2,385	0,013	-26,626	-0,0005	0,119	-0,004	-0,0002	0,0082	0,00007
2	65	450	2,5	0,01	0,015	0,285	0,052	-26,626	-0,0020	0,119	-0,017	-0,0008	0,0088	0,00008
3	125	450	1,5	0,09	0,134	2,385	0,056	-26,626	-0,0021	0,091	-0,023	-0,0012	0,0092	0,00008
4	125	250	2,5	0,07	0,104	2,385	0,044	-5,306	-0,0083	0,119	-0,070	-0,0035	0,0115	0,00013
5	65	230	1,5	0,3	0,448	0,285	1,569	-3,130	-0,5014	0,091	-5,509	-0,2754	0,2834	0,08033
6	65	450	1,5	0,01	0,015	0,285	0,052	-26,626	-0,0020	0,091	-0,022	-0,0011	0,0091	0,00008
7	65	250	2,5	0,46	0,687	0,285	2,406	-5,306	-0,4535	0,119	-3,823	-0,1912	0,1992	0,03967
8	125	250	1,5	0,83	1,239	2,385	0,519	-5,306	-0,0979	0,091	-1,075	-0,0538	0,0618	0,00381
9	40,6	350	2	0,01	0,015	0,873	0,017	-16,066	-0,0011	0,356	-0,003	-0,0001	0,0081	0,00007
10	145,4	350	2	5,87	8,761	4,247	2,063	-16,066	-0,1284	0,356	-0,360	-0,0180	0,0260	0,00068
11	95	350	1,16	0,23	0,343	0,705	0,487	-16,066	-0,0303	-0,377	0,080	0,0040	0,0040	0,00002
12	95	350	2,84	0,01	0,015	0,705	0,021	-16,066	-0,0013	-0,330	0,004	0,0002	0,0078	0,00006
13	95	182	2	5	7,463	0,705	10,581	2,125	4,9791	0,356	13,975	0,6987	-0,6907	0,47711
14	95	518	2	0,01	0,015	0,705	0,021	-33,693	-0,0006	0,356	-0,002	-0,0001	0,0081	0,00007
15	95	350	2	0,01	0,015	0,705	0,021	-16,066	-0,0013	0,356	-0,004	-0,0002	0,0082	0,00007
16	95	350	2	0,24	0,358	0,705	0,508	-16,066	-0,0316	0,356	-0,089	-0,0044	0,0124	0,00015
17	95	350	2	0,01	0,015	0,705	0,021	-16,066	-0,0013	0,356	-0,004	-0,0002	0,0082	0,00007
18	95	350	2	0,05	0,075	0,705	0,106	-16,066	-0,0066	0,356	-0,018	-0,0009	0,0089	0,00008
19	95	350	2	0,09	0,134	0,705	0,190	-16,066	-0,0119	0,356	-0,033	-0,0017	0,0097	0,00009
20	95	350	2	0,02	0,030	0,705	0,042	-16,066	-0,0026	0,356	-0,007	-0,0004	0,0084	0,00007
				? 13,34								? 0,150		
				y _{ср} 0,67								K _{ср} 0,008		

$$Y_1 = 0,67 (0,0007X_1^2 - 0,098X_1 + 3,698) (0,0000176X_2^2 - 0,11X_2 + 22,47) (-0,01X_3^2 + 4,05X_3 - 3,72)$$

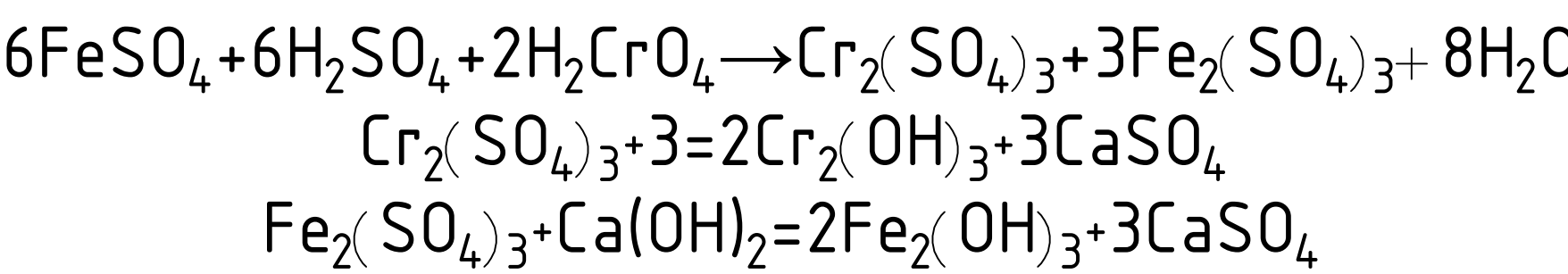
где X_1 – исходная концентрация хрома в стоке, мг/дм³;
 X_2 – доза FeSO₄, мг/дм³
 X_3 – pH среды.
 Y – остаточная концентрация ионов хрома в сточной воде, мг/дм³

Зависимости нормализованных значений остаточной концентрации Cr^{6+} варьируемых факторов



						ВКР. БР. 270800.62.06 - 2016 Д			
						Сибирский федеральный университет Инженерно-строительный институт			
Изм.	Кол-во	Лист	№ док.	Подпись	Дата				
Разработал	Николаева	Р.Д.				Разработка технологии	Страница	Лист	Листов
Рук. ВКР	Халтурина	Т.И.				физико-химической очистки	4	3	7
Консультант	Халтурина	Т.И.				хромосодержащих сточных вод			
Нормоконтр	Халтурина	Т.И.				Исследование процесса реагентной очистки хромосодержащих сточных вод пр. металлов бабачин	ИСЗиС пр. И312-21		
Зав. кафедрой	Савина	Г.В.							

Определение свойств осадка хромсодержащих сточных вод



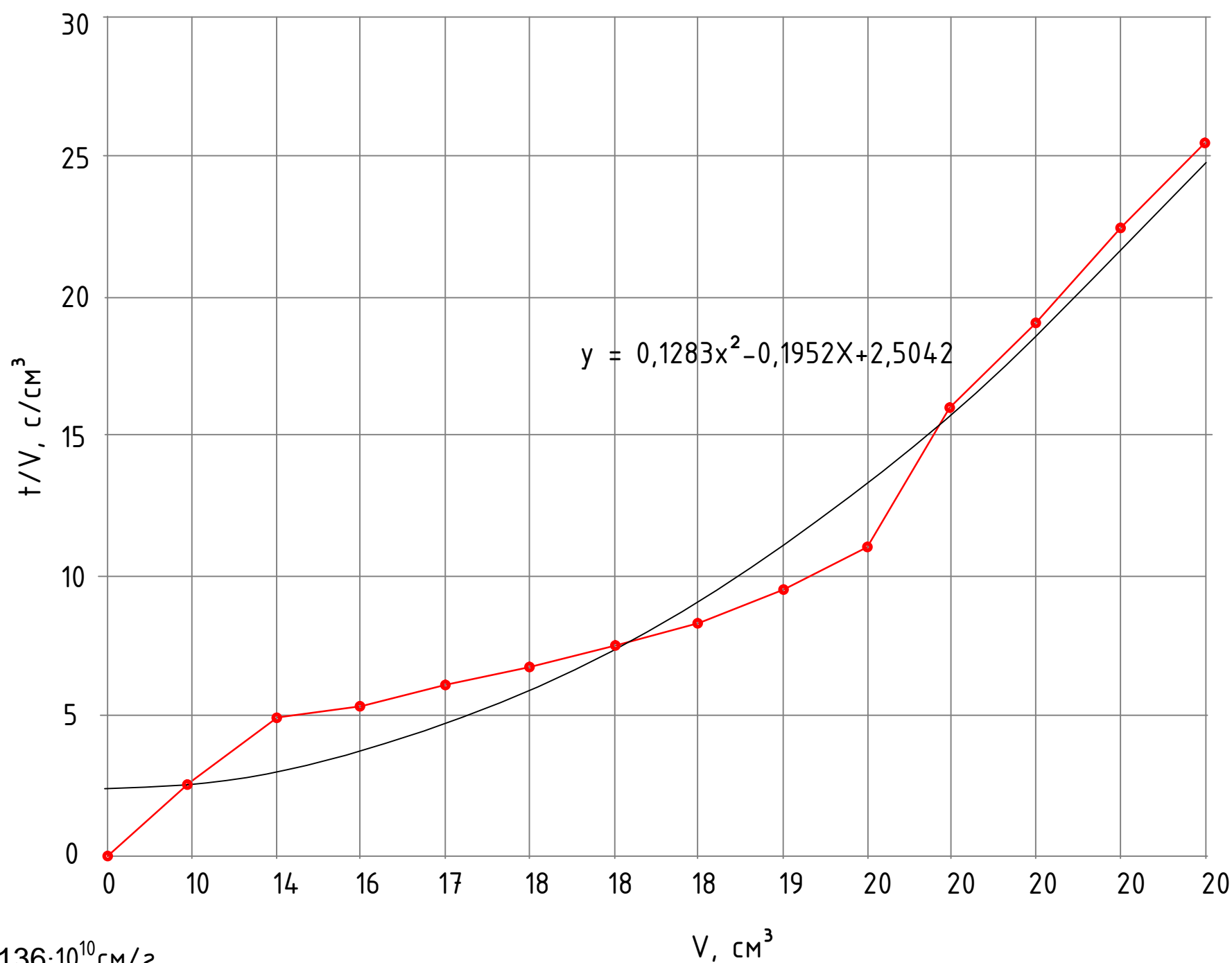
Влажность осадка W, %	Плотность осадка ρ, г/см³	Сухой остаток при 105°C, г/дм³	Остаток после прокаливания при 800°C, г/дм³	Потери при прокаливании, г/дм³	Потери при прокаливании, %	Удельное сопротивление, см/г
98,9	0,88	9,1	2,53	6,57	72,2	136·10 ¹⁰



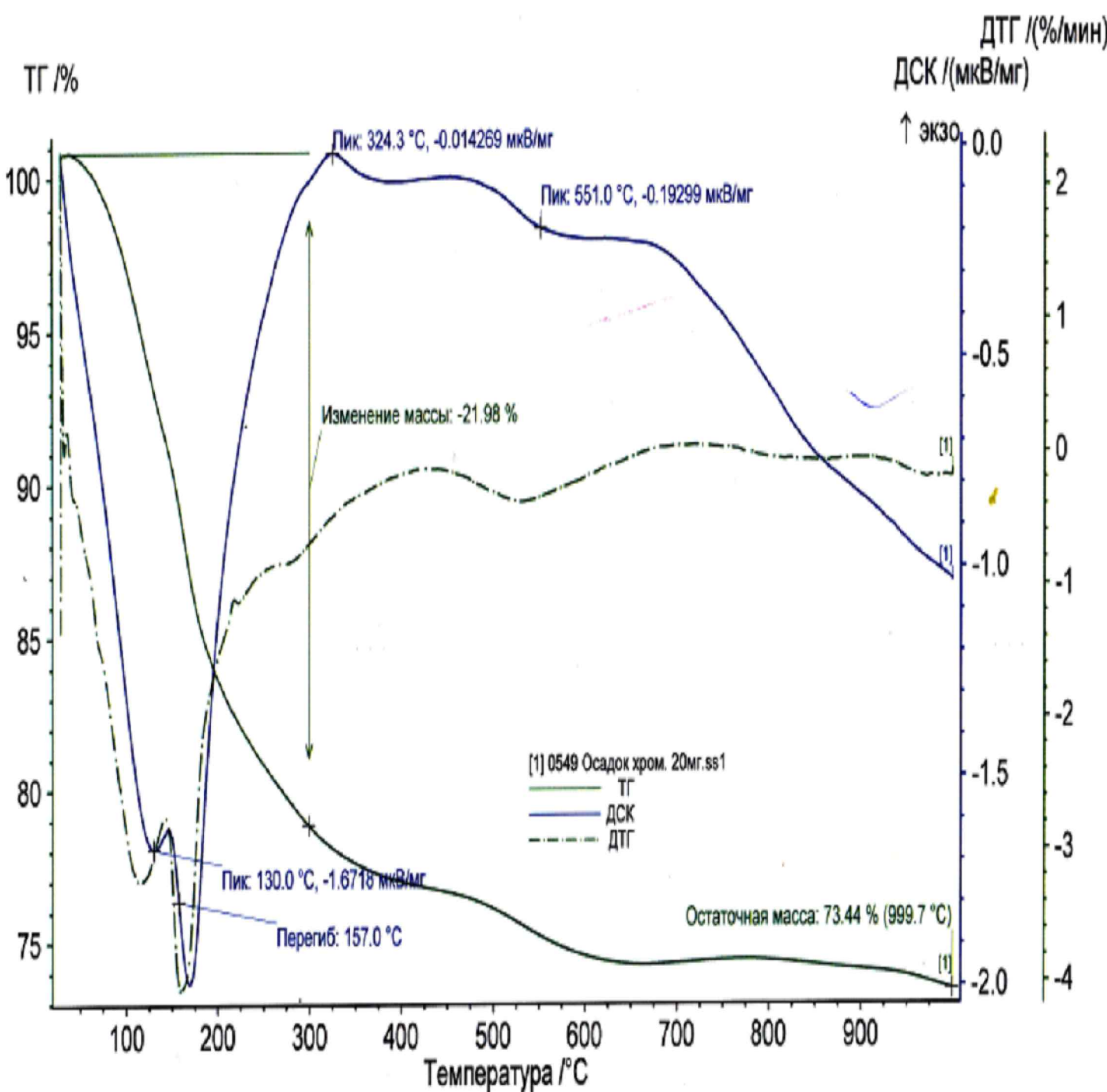
Определение удельного сопротивления осадка хромсодержащих сточных вод



$$\gamma = \frac{2 \cdot P \cdot F^2 \cdot b}{v \cdot C} = \frac{2 \cdot 61,75 \cdot 1747 \cdot 0,1283}{0,01 \cdot 0,027} \cdot 1333,22 = 136 \cdot 10^{10} \text{ см/г}$$



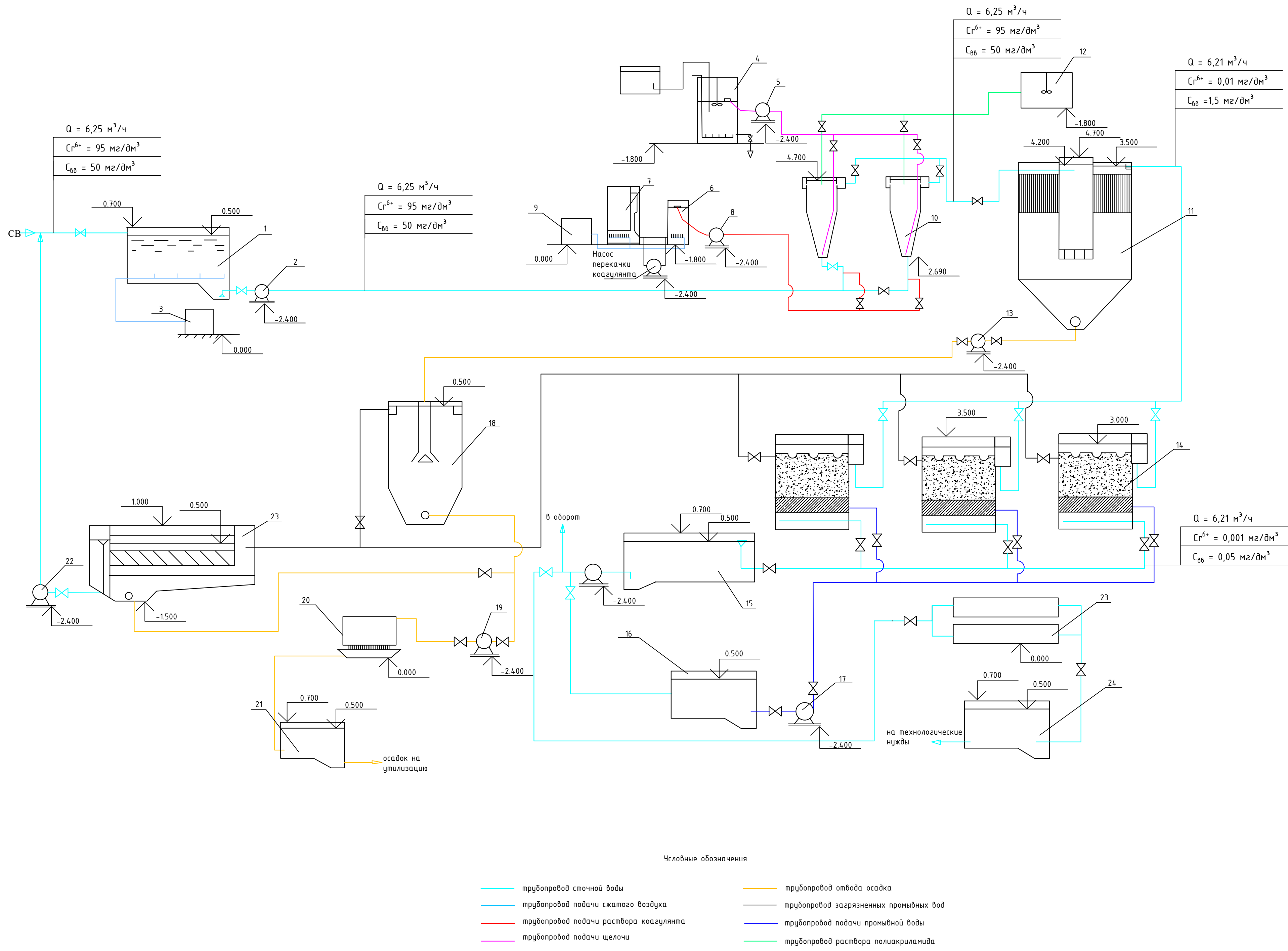
Термогравиметрический анализ сопротивления осадка хромсодержащих сточных вод



ТГ – кривая изменения масс, %;
ДСК – дифференциальная сканирующая калориметрия, мкВ/мг;
ДТГ – дифференциальная термогравиметрическая кривая, %/мин.

						ВКР. БР. 270800.62.06 – 2016 Д				
						Сибирский федеральный университет Инженерно-строительный институт				
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата					
Разработал			Николаева Р.А.			Разработка технологии физико-химической очистки хромсодержащих сточных вод		Стадия	Лист	Листов
Рук. ВКР			Халтурина Т.И.					У	4	7
Консультант			Халтурина Т.И.							
Норм. контр.			Халтурина Т.И.							
Заб. каф.			Саваш Г.В.							
						Определение свойств осадка хромсодержащих сточных вод		ИСЗиС гр. ИЭ12-21		

Технологическая схема реагентной обработки хромсодержащих сточных вод



Условные обозначения

- трубопровод сточной воды
- трубопровод подачи сжатого воздуха
- трубопровод подачи раствора коагулянта
- трубопровод подачи щелочи
- трубопровод отвода осадка
- трубопровод загрязненных промывных вод
- трубопровод подачи промывной воды
- трубопровод раствора полиакриламида

Спецификация

Поз.	Наименование	Кол.
1	Резервуар-усреднитель	1
2	Воздуходувка ВК-1,5	2
3	Насос	2
4	Узел приготовления NaOH	1
5	Насос-дозатор NaOH	2
6	Расходный бак коагулянта	2
7	Растворный бак коагулянта	1
8	Насос-дозатор FeSO₄	2
9	Воздуходувка ВК-0,75	2
10	Вихревой смеситель	2
11	Вертикальный отстойник со встроенной камерой хлопьеобразования	1
12	Узел приготовления полиакриламида	1
13	Насос перекачки осадка	2
14	Скорый фильтр с зернистой загрузкой	3
15	Резервуар чистой воды	1
16	Резервуар промывной воды	1
17	Насос подачи промывной воды	2
18	Шламонакопитель	1
19	Насос перекачки осадка	2
20	Фильтр-пресс	1
21	Резервуар сбора осадка	1
22	Насос	2
23	Установка ультраfiltrации	1
24	Резервуар глубоко очищенной воды	1

ВКР. БР. 270800.62.06 - 2016 ВО					
Сибирский федеральный университет Инженерно-строительный институт					
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата
Разработал	Николаева Р.А.				
Рук. ВКР	Халтурин Т.И.				
Консультант	Халтурин Т.И.				
Норм. контр.	Халтурин Т.И.				
Заб. каф.	Саваш Г.В.				
Разработка технологии физико-химической очистки хромсодержащих сточных вод			Стадия	Лист	Листов
			У	5	7
Технологическая схема реагентной очистки хромсодержащих сточных вод			ИСЗиС гр. ИЭ12-21		

Схемы автоматизации процессов очистки хромсодержащих сточных вод

Схема регулирования pH очищаемых сточных вод

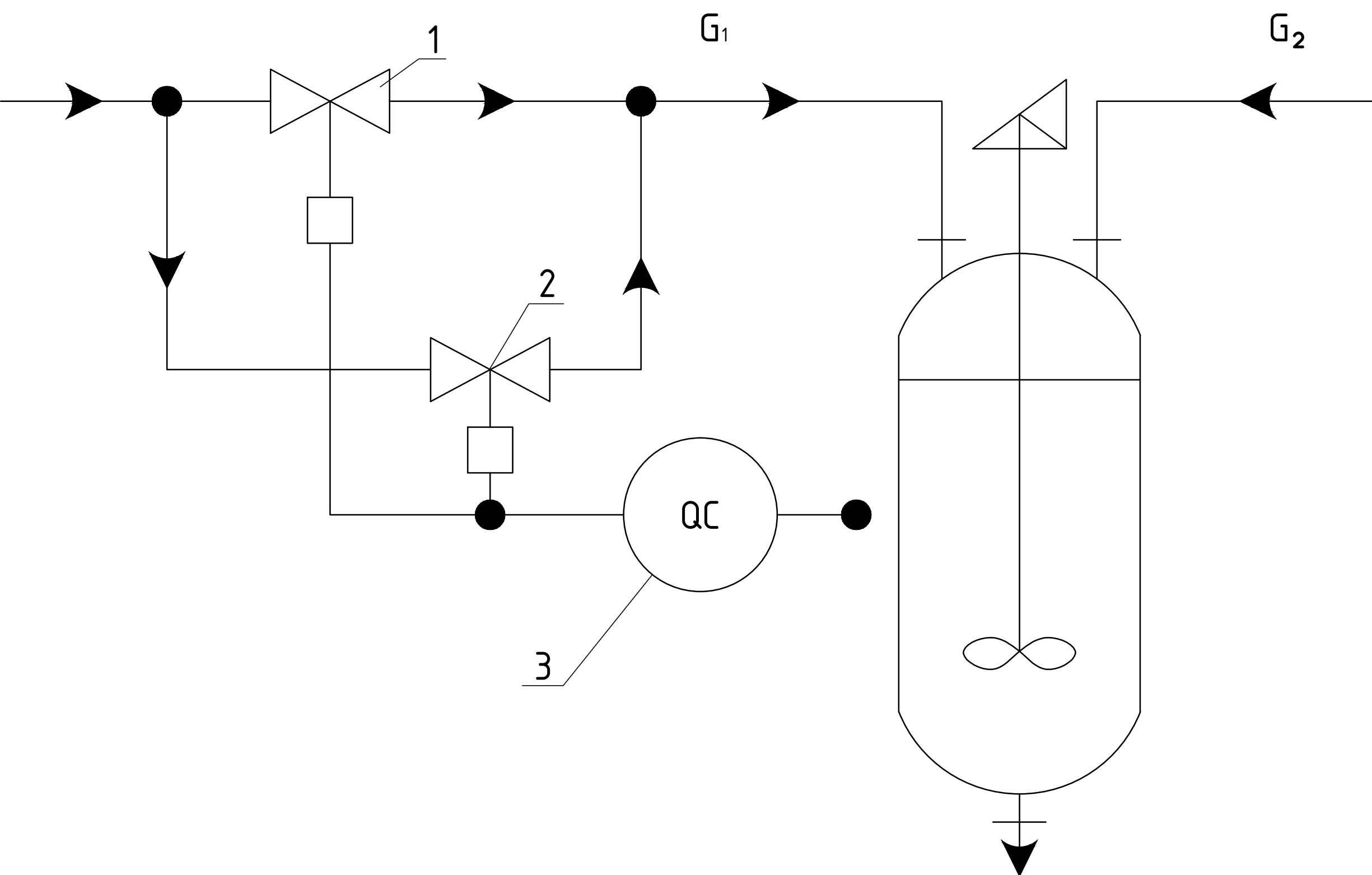


Схема управления электродвигателем

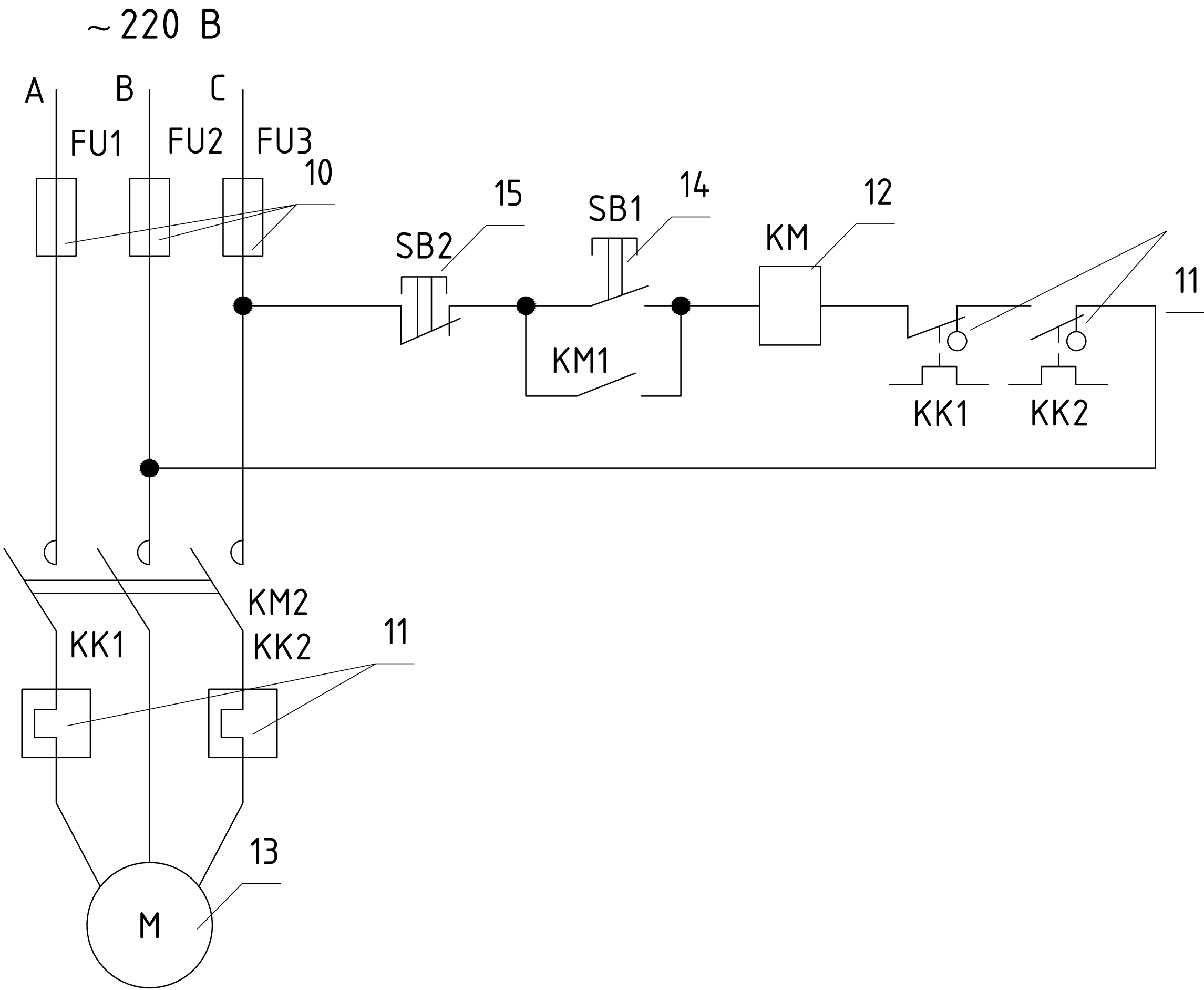
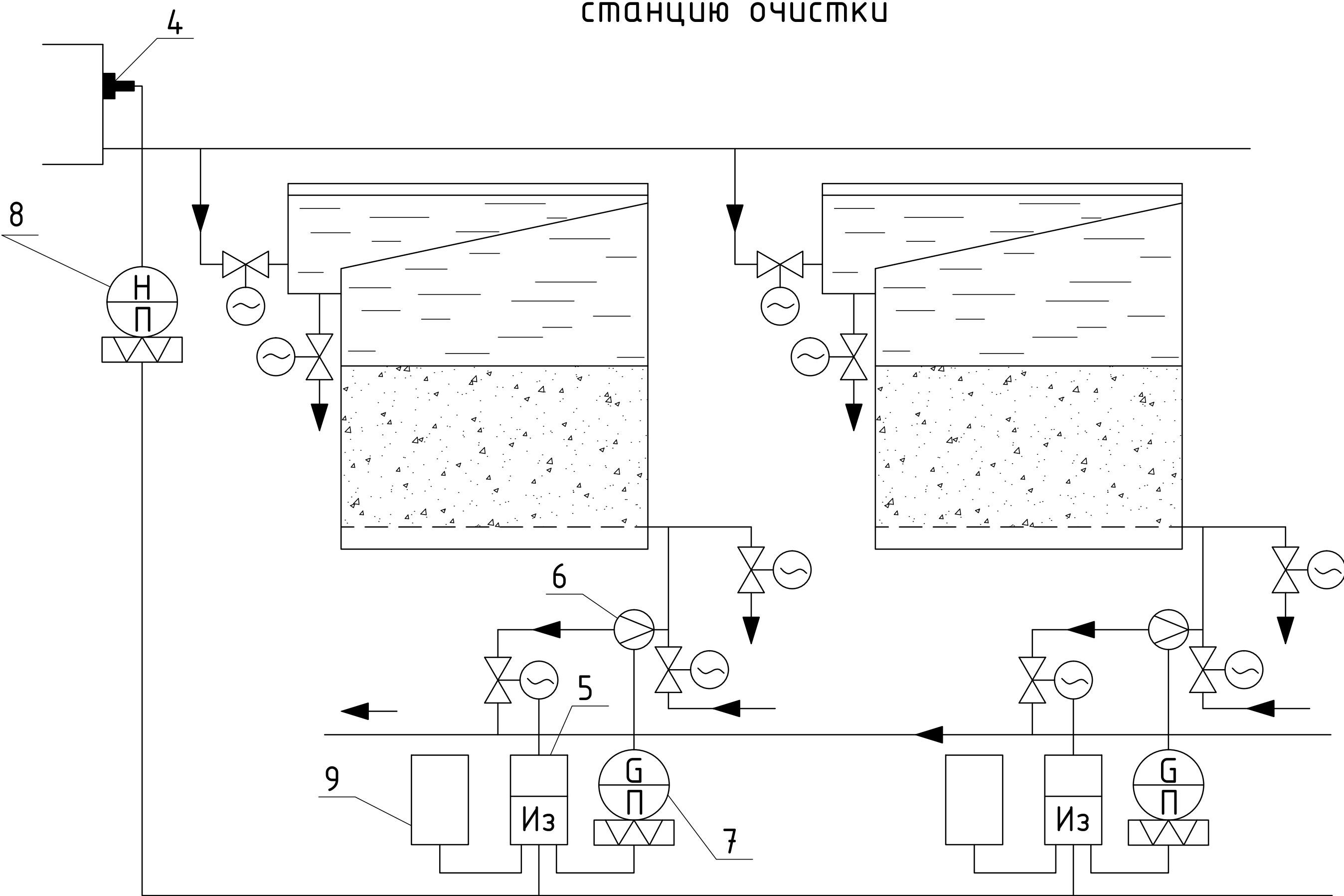


Схема регулирования производительности скорых фильтров по притоку воды на станцию очистки



Спецификация

Поз.	Наименование	Кол.
1	Регулирующий клапан	1
2	Регулирующий клапан	1
3	pH-метр	1
4	Датчик уровня воды в резервуаре	1
5	Дифманометр уровнемера	1
6	Сужающее устройство расходомера	1
7	Расходомер	1
8	Регулятор	1
9	Задатчик	1
10	Предохранитель	3
11	Тепловое реле	2
12	Блок-контакт	2
13	Электродвигатель	1
14	Кнопка запуска	1
15	Кнопка остановки	1

						ВКР. БР. 270800.62.06 - 2016 ВО				
						Сибирский федеральный университет Инженерно-строительный институт				
Изм.	Кол.уч.	Лист	№док	Подпись	Дата	Разработка технологии физико-химической очистки хромсодержащих сточных вод		Стадия	Лист	Листов
	Рук. ВКР	Халтурин Т.И.						у	6	7
	Консультант	Халтурин Т.И.								
	Норм.контр.	Халтурин Т.И.				Схемы автоматизации процессов очистки хромсодержащих сточных вод		ИСЗиС гр. ИЭ12-21		
Заб.каф.	Саваш Г.В.									

Технико-экономическое сравнение технологических вариантов очистки хромсодержащих сточных вод

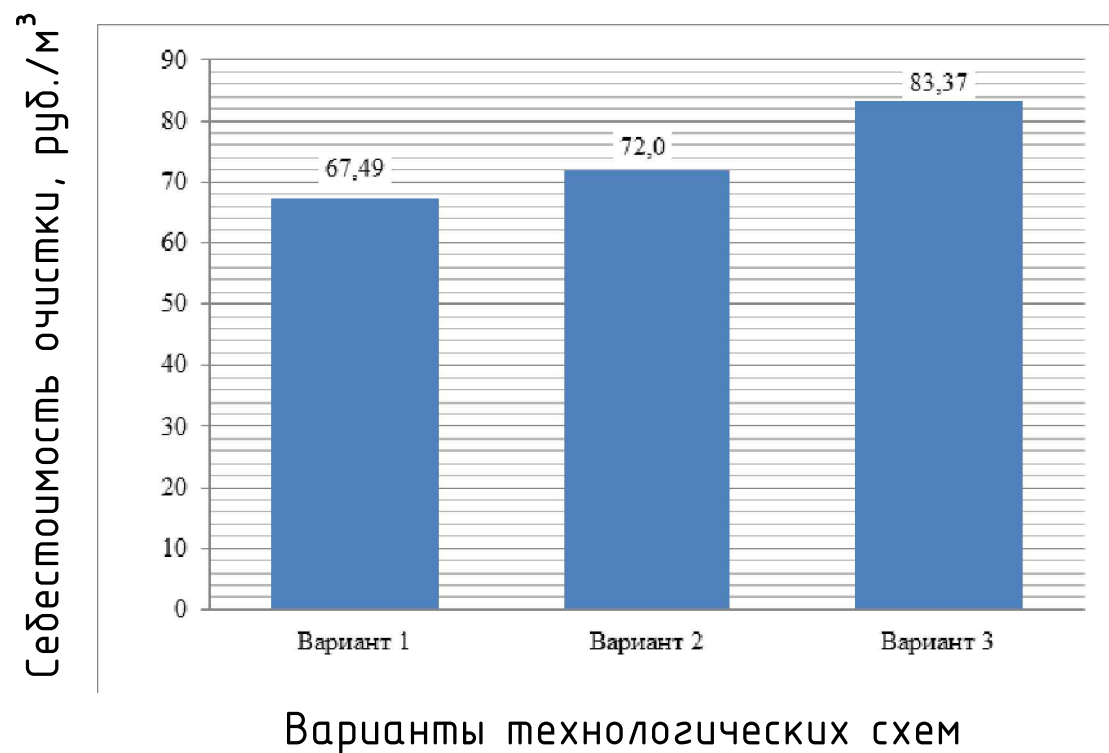
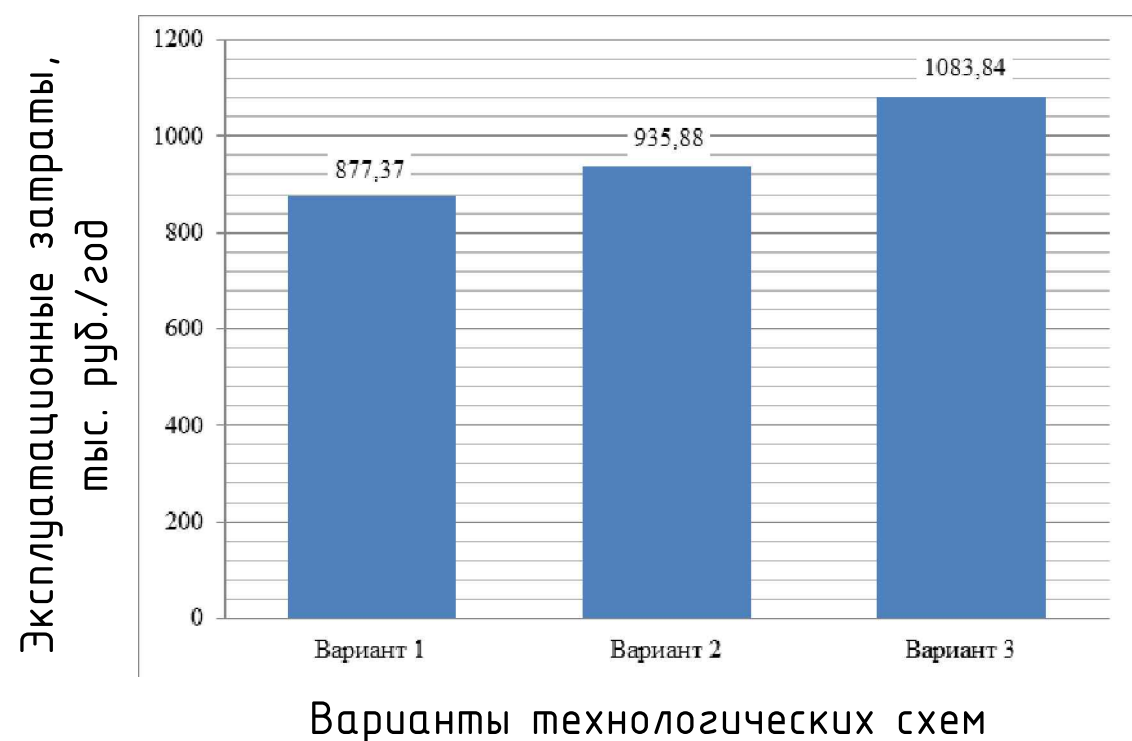
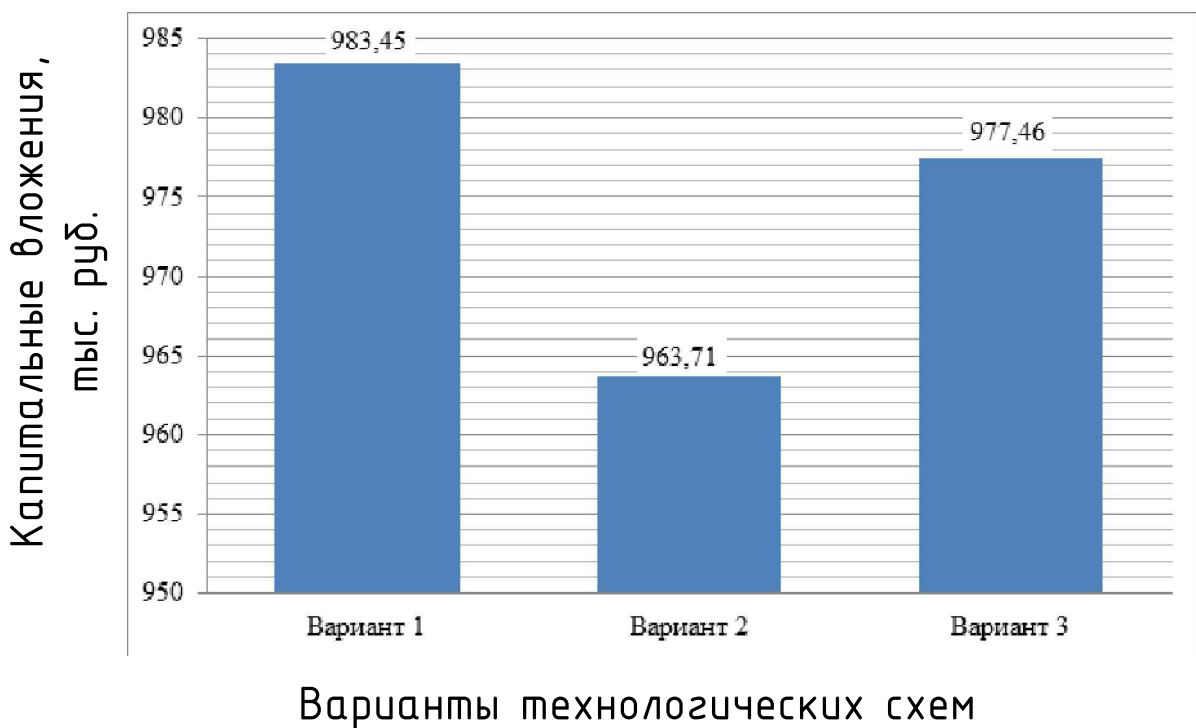
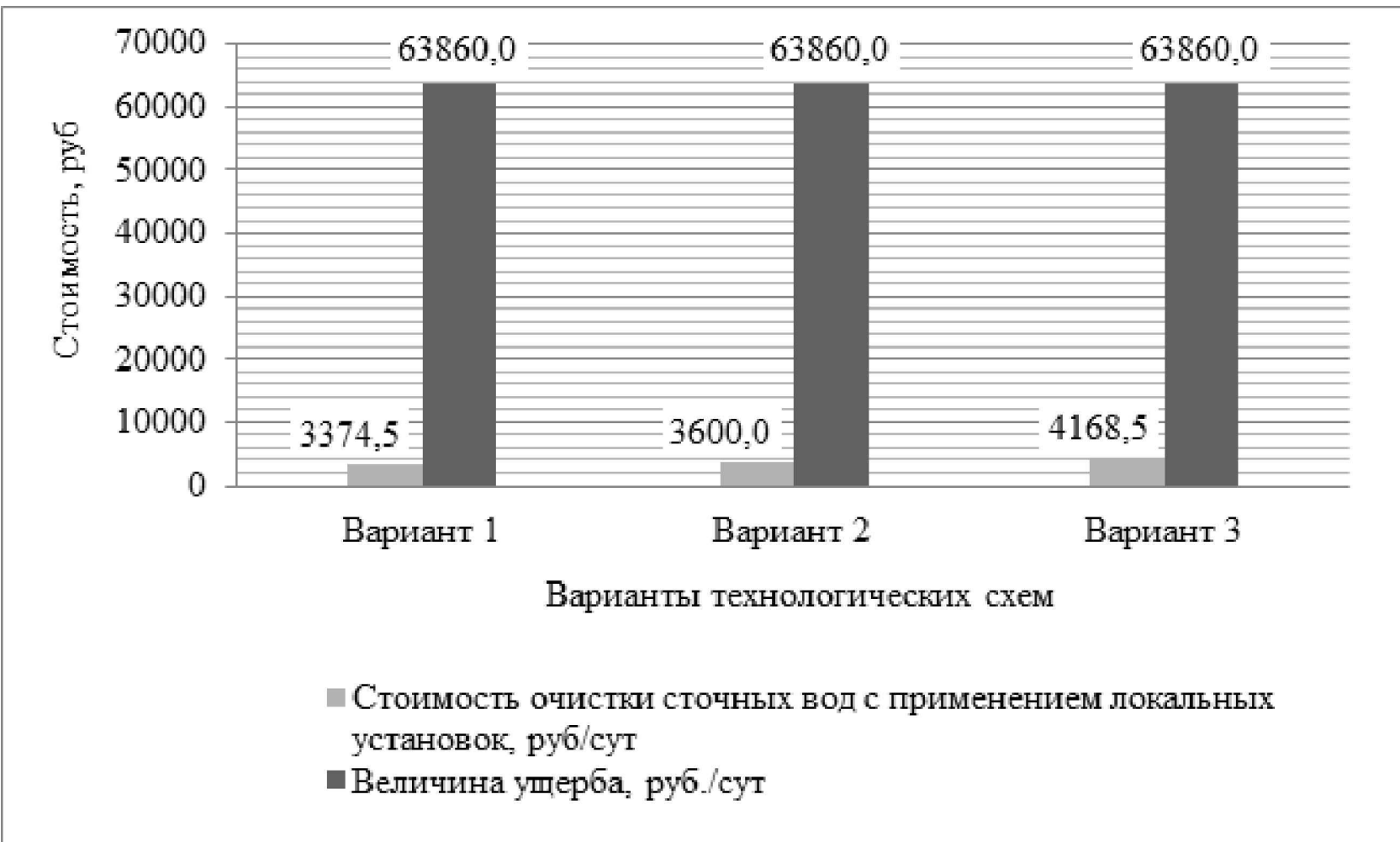
1. Технологическая схема очистки сточной воды от ионов хрома шестивалентного с применением гальванокоагуляционной очистки;
2. Технологическая схема очистки сточной воды от ионов Cr6+ с применением электрокоагуляции;
3. Технологическая схема очистки сточной воды от ионов Cr6+ с применением реагентной очистки.

Сравнение стоимости очистки сточных вод, содержащих ионы шестивалентного хрома, с размером рассчитанного ущерба

Показатели	Класс опасности	ПДК, мг/дм³	Концентрация фактическая Сф, мг/л	Превышение	Масса сброшенных загрязняющих веществ, т	Такса, Н, тыс. руб./т	К _{из}	Размер вреда от сброса загрязняющего вещества У, тыс. руб./сут.
Хром, Cr ⁺⁶ , мг/дм³	3	0,05	95	1900	0,0047	670	5	63,589
Взвешенные вещества, мг/дм³	4	5,25	50	9,52	0,0022	30	1	0,267
								Σ 63,86

Сравнение технико-экономических показателей вариантов очистки хромсодержащих сточных вод

№	Наименование показателей	Единицы измерения	Инвестиционные проекты		
			1 вариант	2 вариант	3 вариант
1	Капитальные вложения	тыс. руб.	983,45	963,71	977,46
2	Эксплуатационные затраты	тыс. руб./год	877,37	935,88	1083,84
3	Себестоимость очистки	руб./м³	67,49	72,00	83,37
4	Модифицированные приведенные затраты	тыс. руб.	3159,76	3287,33	3623,34
5	Приведенные затраты	тыс. руб.	948,92	966,67	1113,31
Σ			6036,99	6225,59	6881,32



Наиболее экономичным и выгодным по технико-экономическим показателям является вариант №1, подразумевающий использование гальванокоагуляционной обработки сточных вод, содержащих ионы шестивалентного хрома.

